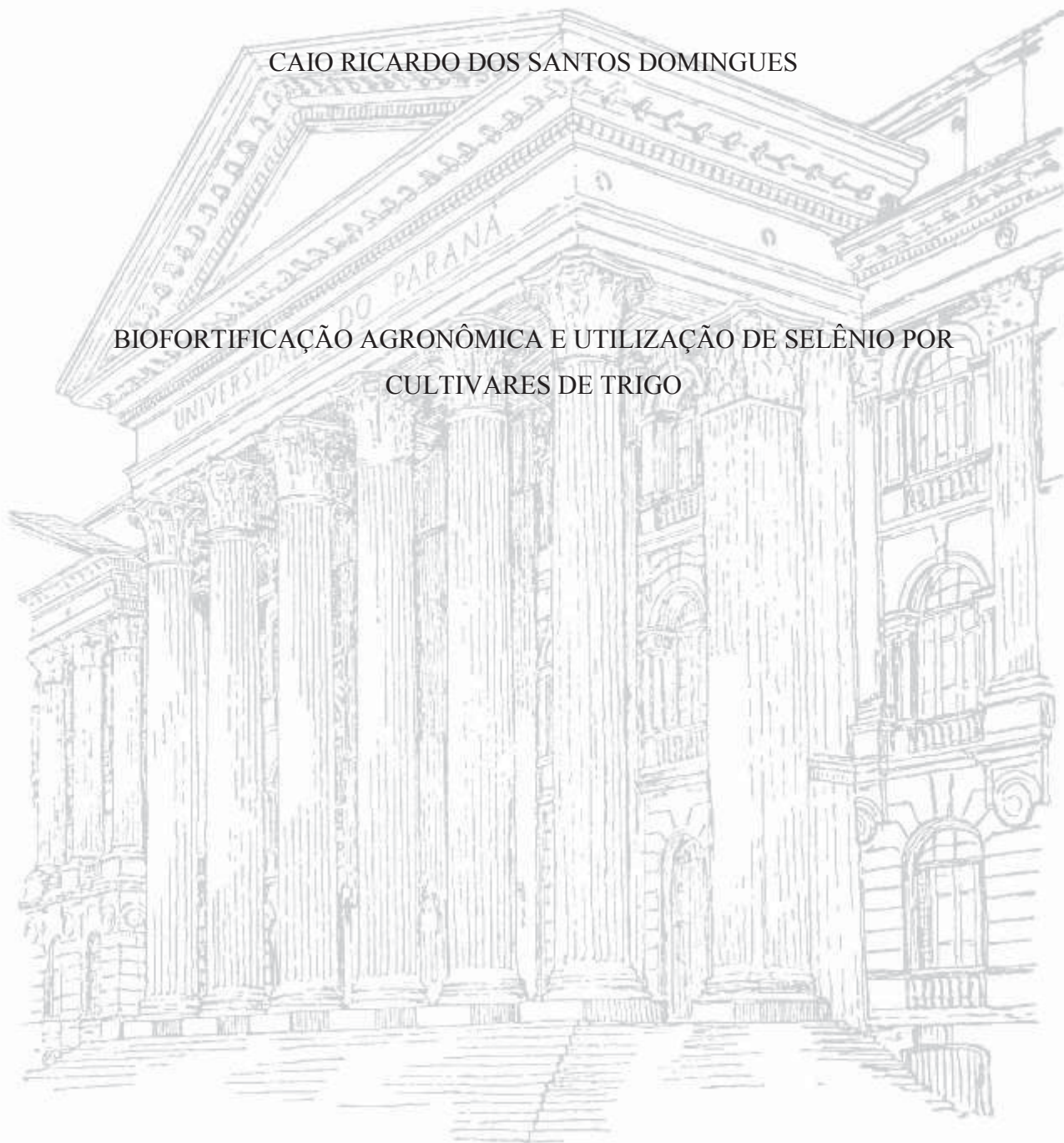


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAIO RICARDO DOS SANTOS DOMINGUES

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA E UTILIZAÇÃO DE SELÊNIO POR
CULTIVARES DE TRIGO



CURITIBA

2015

CAIO RICARDO DOS SANTOS DOMINGUES

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA E UTILIZAÇÃO DE SELÊNIO POR
CULTIVARES DE TRIGO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes
Co-Orientador: Prof. Dr. André Rodrigues dos Reis

CURITIBA

2015

D671b Domingues, Caio Ricardo dos Santos
Biofortificação agrônômica e utilização de selênio por
cultivares de trigo / Caio Ricardo dos Santos Domingues. -
Curitiba, 2015.
128 p.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo.
Orientador: Milton Ferreira de Moraes
Coorientador: André Rodrigues dos Reis

1. Segurança alimentar. 2. Trigo - Genética. 3. Alimentos -
Qualidade. 4. Trigo - Cultivo. I. Moraes, Milton Ferreira de. II.
Reis, André Rodrigues dos. III. Título. IV. Universidade Federal do
Paraná.

CDU 633.11



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
Mestrado e Doutorado



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **CAIO RICARDO DOS SANTOS DOMINGUES**, intitulada: **Biofortificação agrônômica e utilização de selênio por cultivares de trigo**, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela **"APROVAÇÃO"** da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 27 de fevereiro de 2015.


Prof. Dr. Milton Ferreira dos Santos Domingues, Presidente


Prof. Dr. André Rodrigues dos Reis, Iº. Examinador


Prof. Dr. Antônio Carlos Vargas Motta, IIº. Examinador

Aos meus pais e irmão,

**Osvaldo Domingues,
Elza Cristina dos Santos e
Gabriel Henrique dos Santos Domingues**

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

...primeiramente a **Deus** pela minha vida, saúde e discernimento frente a cada passo em minha longa jornada, tanto nos bons e maus momentos.

...aos meus amados pais **Osvaldo Domingues e Elza Cristina dos Santos**, os quais são os meus maiores incentivadores e que sempre me apoiaram. Sem vocês, não sei se teria chegado até aqui. Meus mais sinceros sentimentos de amor e gratidão.

...ao meu irmão **Gabriel Henrique dos Santos Domingues** pela irmandade, amizade e lealdade, sempre. Nosso compromisso é muito antes do que essa vida presente. Tenho orgulho de sermos irmãos.

...aos meus queridos tios **José Domingues e Ana Marta Fonseca Domingues**, os quais desde sempre e com muito carinho torcem pelo meu crescimento e minhas realizações.

...a minha prima **Ana Carolina Fonseca Domingues** por todo amor e carinho de uma “irmã”.

...a **Universidade Federal do Paraná – UFPR**, em especial ao **Departamento de Solos e Engenharia Agrícola – DSEA** e seu **Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo** pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

...a **CAPES** pela concessão da bolsa de estudo.

...ao meu orientador, Prof. Dr. **Milton Ferreira de Moraes** pela confiança depositada em mim e por todo ensinamento transmitido ao longo desses 24 meses de estudo e trabalho em parceria.

...ao meu co-orientador, Prof. Dr. **André Rodrigues dos Reis** pela orientação e cooperação necessário na elaboração do presente estudo.

...a todos os **Professores** do DSEA/UFPR por contribuir para o meu crescimento, em especial a Prof^ª Dra. **Fabiane Machado Vezzani** e Prof^ª Dra. **Nerilde Favaretto** por toda atenção e contribuição no desenvolvimento do presente estudo e também pelo prazeroso período de convivência.

...ao Prof. Dr. **Antônio Carlos Vargas Motta** pelas oportunidades concedidas e pelos ensinamentos transmitidos, sobretudo, pelo estímulo ao meu crescimento.

...a todos os **Técnicos, Laboratoristas e Secretários** do DSEA/UFPR pela colaboração no desenvolvimento do presente estudo, em especial as técnicas e secretária **Cleusa Maria Barth, Maria Aparecida de Carvalho Santos, Letícia Gonsalves Maduro e Denise de Conti**.

...ao meu amigo e colega de trabalho **Julierme Zimmer Barbosa** pela amizade e ensinamentos transmitidos.

...ao **Carlos Leandro Rodrigues dos Santos** pela contribuição no presente estudo e pela amizade.

...ao meu amigo e colega de mestrado, **Gabriel Democh Goularte** pela amizade construída durante o mestrado. Sem deixar de agradecer pelas suas contribuições na realização do presente estudo.

...aos meus amigos **Joyce Cristina Santos Nascimento, Priscila Luzia Simon, Wilian Carlo Demetrio, Alessandra Calegari da Silva, Leocimara Sutil de Oliveira Pessoa Paes, Rangel Consalter, Claudia Weber Pinto, Stephanie de Almeida Ferreira** e todos os demais colegas de pós-graduação.

...a **EMBRAPA – Trigo** e ao pesquisador Dr. **Pedro Luiz Scheeren** pela disponibilização de parte da base dos genótipos de trigo utilizados no presente estudo.

...a **COODETEC** e ao pesquisador Dr. **Francisco de Assis Franco** pela infraestrutura disponibilizada para execução dos experimentos e pela contribuição e parceria na realização do presente estudo.

...ao **Departamento de Ciência do Solo – DCS/UFLA** e toda sua equipe do **Laboratório de Biogeoquímica** (professores, laboratoristas, graduandos e pós-graduandos) pelo suporte técnico na realização das análises de Se.

“Só existe uma maneira de evitar as críticas: não fazer nada, não dizer nada e não ser nada.” Aristóteles – filósofo grego.

RESUMO

Há crescente preocupação quanto à qualidade nutricional dos produtos agrícolas, pois a busca pelo aumento da produção de grãos tem acarretado diminuição na qualidade nutricional dos alimentos, evidenciando aumento da desnutrição na população mundial, em especial nos países em desenvolvimento. Desta forma, o combate à desnutrição e a deficiência de micronutrientes torna-se um dos maiores desafios da humanidade. A “biofortificação” de alimentos apresenta-se como ferramenta de grande eficácia no combate a essa problemática, através do manejo agrônomo é possível enriquecer produtos agrícolas como cereais com Se, visando combater a deficiência desse mineral essencial a animais e humanos. O presente trabalho foi dividido em dois capítulos e o primeiro avaliou 183 acessos de cultivares de trigo pertencente ao germoplasma tritícola brasileiro, objetivando-se identificar possíveis variações genotípicas quanto à acumulação natural de selênio em grãos. No segundo capítulo, avaliou-se oito cultivares previamente selecionadas com características de potencial para biofortificação com Se, com o objetivo de avaliar a eficiência de utilização e acúmulo de Se em razão da aplicação desse elemento no manejo da fertilização do solo. Como resultado geral, verificou-se que o germoplasma brasileiro dispõe genótipos com potencial no enriquecimento de Se em grãos de trigo, para continuidade dos estudos de melhoramento genético e agrônomo para biofortificação com esse elemento. Quanto à variabilidade genética dos acessos, foram observadas concentrações de Se de $<8,13$ a $189,05 \mu\text{g kg}^{-1}$, com valor médio geral de $43,71 \mu\text{g kg}^{-1}$. Os cultivares Abalone, Embrapa 21, Londrina e Mentana foram identificadas como boas acumuladoras de selênio nos grãos e de boa produtividade de grãos, podendo serem utilizadas em futuros estudos para biofortificação em selênio. Com a adição de Se na dose de $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de solo, os cultivares aumentaram grandemente os teores de Se nos grãos, com faixa de variação de $2,0$ a $2,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de Se. Todavia, esses cultivares não confirmaram a variabilidade genética de maior concentração de Se obtidas no primeiro experimento. A variação na concentração de Se em grãos de trigo é dependente das condições ambientais. Conclui-se que a aplicação de Se aumenta eficientemente os teores de Se nos grãos de trigo e não há influência genotípica na acumulação de Se nas plantas de trigo.

Palavras-chave: Segurança alimentar, variabilidade genética, qualidade de alimentos.

ABSTRACT

There is growing concern over the nutritional quality of agricultural products, because the effort to boost yields has caused a reduction of this quality, as evidenced by the increase in malnutrition among the global population. Therefore, fighting malnutrition, especially deficiency of micronutrients, has become one of humanity's greatest challenges. The "biofortification" of foods is a highly effective tool to combat this problem. In particular, through agronomic management it is possible to enrich farm products such as cereals with selenium (Se), to make up for the deficiency of this essential mineral to animals and humans. The present work is divided into two chapters. The first describes the evaluation of 183 wheat cultivars belonging to Brazilian germplasm collections to identify possible genotypic variations regarding natural accumulation of Se in the grains. The second chapter reports the evaluation of eight cultivars previously selected for potential biofortification with Se, with the objective of determining the efficiency of accumulation of Se from applying this element during fertilization. As a general result, it was found that Brazilian wheat germplasm has genotypes with potential for enrichment of Se in the grains, contributing knowledge for continuing studies of genetic and agronomic improvement for biofortification with this element. With respect to the genetic variability of the accessions, concentrations of Se from <8.13 to $189.05 \mu\text{g kg}^{-1}$ were observed, with mean of $43.71 \mu\text{g kg}^{-1}$. The cultivars Abalone, Embrapa 21, Londrina and Mentana were identified as good accumulators of selenium in the grains and also as producing high grain yields, enabling their use in future studies of Se biofortification. With the addition of the Se dose of 0.5 mg dm^{-3} of soil, the cultivars produced substantially higher levels of Se in the grains, with variation from 2.0 to 2.8 mg kg^{-1} of Se. However, tests with these cultivars did not confirm the genetic variability for higher concentration of Se obtained in the first experiment. The variation of the concentration of Se in wheat grains depended on environmental conditions. The conclusion was that the application of Se was efficient to increase the levels of Se in the grains of the cultivars studied, but there was no influence of genotype on this Se accumulation.

Key-words: Food security, genetic variability, food quality.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1 -	Características de 46 cultivares de trigo utilizados na seleção de genótipos com potencial para biofortificação com Se	36
Tabela 2 -	Produtividade, <i>stand</i> , afilhos, altura de plantas e acamamento em cultivares de trigo e suas relações	38
Tabela 3 -	Produtividade e concentrações de N, P, K, Ca, Mg e Se em grãos de cultivares de trigo e suas relações	41
Tabela 4 -	Produtividade e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e Se em grãos de cultivares de trigo e suas relações	44
Tabela 5 -	Produtividade e concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu, B e Se em grãos de cultivares de trigo e suas relações	46
Tabela 6 -	Produtividade e acúmulo de Fe, Zn, Mn, Cu, B e Se em grãos de cultivares de trigo e suas relações	48

CAPÍTULO III

Tabela 7 -	Produtividade, MSPA, afilhamento e número de espigas, altura de plantas e comprimento de espiga de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	74
Tabela 8 -	Correlações entre produtividade, MSPA, número de afilhos e espiga, altura de plantas e comprimento de espigas de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	75
Tabela 9 -	Produtividade, clorofila (índice SPAD), atividade das enzimas assimiladoras de nitrogênio (urease e nitrato redutase) de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	76
Tabela 10 -	Produtividade e concentrações de N, P, K, Ca e Mg em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	82
Tabela 11 -	Correlações entre produtividade, concentrações de N, P, K, Ca, Mg e Se em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	83

Tabela 12 -	Produtividade e acúmulo de N, P, K, Ca e Mg em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	84
Tabela 13 -	Correlações entre produtividade, acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e Se em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	85
Tabela 14 -	Produtividade e concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu e B em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	88
Tabela 15 -	Correlações entre produtividade, concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu, B e Se em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	89
Tabela 16 -	Produtividade e acúmulo de Fe, Zn, Mn, Cu e B em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	90
Tabela 17 -	Correlações entre produtividade, acúmulo de Fe, Zn, Mn, Cu, B e Se em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	91
Tabela 18 -	Produtividade e concentrações de N, P, K, Ca e Mg em folha diagnóstico (folha bandeira) de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	93
Tabela 19 -	Correlações entre produtividade, concentrações de N, P, K, Ca, Mg e Se em folha diagnóstico (folha bandeira) de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	94
Tabela 20 -	Produtividade e concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu e B em folha diagnóstico (folha bandeira) de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	96
Tabela 21 -	Correlações entre produtividade, concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu, B e Se em folha diagnóstico (folha bandeira) de cultivares de trigo adubadas com Se no solo	97

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1 -** Variação genotípica de 45 cultivares de trigo em relação à concentração natural de Se nos grãos 52

CAPÍTULO III

- Figura 2 -** Rendimento de grãos de trigo em resposta a adubação com Se no solo 73
- Figura 3 -** Concentração de Se em grãos de trigo em resposta a adubação com Se no solo 80
- Figura 4 -** Acúmulo de Se em grãos de trigo em resposta a adubação com Se no solo 80
- Figura 5 -** Concentração de Se em folha diagnóstico (folha bandeira) de trigo em resposta a adubação com Se no solo 92
- Figura 6 -** Gradiente de concentrações de Se, Fe e Zn na espiga de trigo, distribuídos em grãos da base e da ponta. Dose adicionada 0,5 mg de Se dm⁻³. Cultivar BRS 210 100
- Figura 7 -** Gradiente de concentrações de Se, Fe e Zn na espiga de trigo, distribuídos em grãos da base e da ponta. Dose adicionada 0,5 mg de Se dm⁻³. Cultivar EMBRAPA 21 101

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	6
1 INTRODUÇÃO GERAL	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Características gerais do selênio	10
2.2 Selênio nos solos	10
2.3 Selênio em plantas	13
2.4 Selênio em seres humanos e animais	15
3 REFERÊNCIAS CITADAS	18
 CAPÍTULO II – VARIAÇÃO GENOTÍPICA NA CONCENTRAÇÃO E ACÚMULO NATURAL DE SELÊNIO NOS GRÃOS DE TRIGO	 27
RESUMO	27
ABSTRACT	28
 1 INTRODUÇÃO	 29
2 MATERIAL E MÉTODOS	31
2.1 Localização e caracterização da área experimental	31
2.2 Caracterização física e química do solo	31
2.3 Critérios para seleção de genótipos de trigo	32
2.4 Delineamento e caracterização experimental	32
2.5 Instalação e desenvolvimento experimental	32
2.6 Avaliações de desempenho agrônomo	32
2.7 Determinação das concentrações de Se, macronutrientes e micronutrientes em grãos ...	33
2.8 Análises estatísticas	34
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35

3.1	Características dos cultivares	35
3.2	Produtividade de grãos e componentes agronômicos	35
3.3	Concentração e acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em grãos	39
3.4	Concentração e acúmulo de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu, B) em grãos	40
3.5	Concentração e acúmulo de Se em grãos	49
4	CONCLUSÕES	53
5	REFERÊNCIAS CITADAS	54
	CAPÍTULO III – UTILIZAÇÃO DE SELÊNIO POR CULTIVARES DE TRIGO	60
	RESUMO	60
	BSTRACT	61
1	INTRODUÇÃO	62
2	MATERIAL E MÉTODOS	64
2.1	Local e solo	64
2.2	Caracterização física e química do solo	64
2.3	Tratamentos e delineamento experimental	65
2.4	Instalação e desenvolvimento experimental	65
2.5	Avaliações de desempenho agronômico	66
2.6	Estimativa do teor de clorofila (índice SPAD)	66
2.7	Atividade de enzimas assimiladoras de nitrogênio	67
2.7.1	Determinação da atividade da enzima nitrato redutase (RNO₃)	67
2.7.2	Determinação da atividade da enzima urease	68
2.8	Determinação das concentrações Se, macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) em tecido vegetal	69
2.8.1	Determinação das concentrações em grãos	69
2.8.2	Determinação das concentrações em folha diagnóstico (folha bandeira)	70

2.9 Determinação da concentração de Se no solo	70
2.10 Determinação da alocação dos teores de Se, Fe e Zn em espigas	70
2.11 Análises estatísticas	71
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
3.1 Produtividade e componentes de desempenho agrônomo	72
3.2 Estimativa do teor de clorofila (índice SPAD)	74
3.3 Atividade de enzimas assimiladoras de nitrogênio (nitrato redutase e urease)	77
3.4 Concentração e acúmulo de Se em grãos de trigo	78
3.5 Concentração e acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em grãos	81
3.6 Concentração e acúmulo de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) em grãos	86
3.7 Concentração de selênio (Se) em folha diagnóstico (folha bandeira)	92
3.8 Concentração de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em folha diagnóstico (folha bandeira)	93
3.9 Concentrações de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) em folha diagnóstico (folha bandeira)	95
3.10 Alocações de Se, Fe e Zn em espigas	98
3.11 Aplicação de Se como prática de adubação via solo para biofortificação do trigo	102
4 CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO GERAL

Aos seres humanos são essenciais mais de 22 tipos de minerais e vitaminas em quantidades variáveis para que seu metabolismo esteja em pleno funcionamento (Zhang, 2008), o que torna a má ingestão de nutrientes uma das maiores preocupações dos tempos atuais (Graham et al., 2007; White et al., 2009; FAO, 2012). O termo “fome oculta”, qual é utilizado para descrever a desnutrição de micronutrientes requeridos em pequenas quantidades (Combs Junior, 2001), é responsável por uma em cada cinco pessoas dos países em desenvolvimento estarem cronicamente desnutridas, especialmente mulheres grávidas, adolescentes e crianças (Graham et al., 2007; White & Broadley, 2008; FAO, 2012). Nessas regiões, mais de dois bilhões de pessoas são anêmicas em decorrência da deficiência de ferro (Fe) e um terço da população mundial vive em alto risco em relação à deficiência de zinco (Zn) (Allen et al., 2006). Mais de 800 milhões de pessoas são deficientes em iodo (I) (Welch, 2008) e cerca de 40% de toda população mundial é deficiente em vitamina A (Graham et al., 2007). Além do selênio (Se), qual se estima que sua deficiência atinja entre 0,5 e 1,0 bilhão de pessoas em todo o mundo (Combs Junior (2001). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a deficiência nutricional interfere em todo desenvolvimento de um indivíduo, com consequências tanto do ponto de vista físico, acarretando inúmeras doenças e anomalias, como social e econômico, interferindo até mesmo no próprio desenvolvimento de um país (FAO, 2012).

Vários são os fatores que configuram a deficiência de nutrientes nos alimentos e por consequência sua carência nas populações. Em parte, está relacionado a essa evolutiva da produção de alimentos ao longo dos anos que tem resultado no alcance de altos tetos de produtividade em detrimento de seus teores de vitaminas e minerais. Desta forma ocorrendo uma relação inversa ao conteúdo de nutrientes nos produtos agrícolas alimentares. Tal fato é atribuído ao melhoramento genético vegetal que tem direcionado esforços na obtenção de variedades mais homogêneas e mais eficientes no uso de fertilizantes (White et al., 2009; Sands et al., 2009; Moraes et al., 2010; Zhão & Shewry, 2011). Apesar disso, os baixos teores de micronutrientes nos alimentos de origem vegetal são atribuídos, como fator determinante, aos baixos teores destes nos solos agrícolas (Ferreira et al., 2002). Que frequentemente está relacionado ao tipo de material de origem e suas características minerais, concentrações, localidade, processos de transformação, distribuição e redistribuição (intemperismo), até, sua dinâmica no solo, pH, potencial redox e matéria orgânica (MO) (Kabata-Pendias & Pendias, 2001; Dhillon & Dhillon, 2003; Fordyce, 2007). Grande parte da população mundial vive em regiões onde o solo apresenta um desbalanço de micronutrientes, o

que caracterizar a falta frequente de minerais essenciais como Fe, Zn e Se (Fordyce, 2007; Zhão & Shewry, 2011).

O desenvolvimento de plantas com maiores densidades de vitaminas e minerais nas partes comestíveis pode ajudar a melhorar a dieta humana, sendo mais eficiente que as estratégias tradicionais de fortificação e/ou suplementação pós-colheita, uma vez que tais nutrientes quando fornecidos naturalmente, são mais bem aproveitados (Moraes et al., 2010). Desta forma, a introdução de produtos agrícolas “biofortificados agronomicamente” – variedades com maior conteúdo de minerais e vitaminas desenvolvidas a partir da exploração da variabilidade genética aliada às práticas do manejo adequado de nutrientes através da adubação – caracteriza-se como uma ferramenta complementar junto às intervenções em nutrição existentes, sendo proporcionada de maneira sustentável e de baixo custo para alcançar as populações com limitado acesso aos sistemas formais de mercado e saúde (Moraes et al., 2009; Nutti et al., 2010).

Neste contexto, o uso de fertilizantes visando aumentar os teores de micronutrientes nas culturas é uma das principais práticas a serem adotadas, e pode ser realizada por meio da adubação via solo, tratamentos de sementes e/ou aplicação foliar (Welch, 2008). Dentre os nutrientes estudados, as melhores respostas têm sido obtidas com a aplicação de Zn, pois é possível selecionar plantas eficientes para maior acúmulo do elemento nos grãos e também responsivas à adição desse micronutriente pela prática da adubação (White & Broadley, 2005; Moraes et al., 2009). Pesquisas realizadas por Yilmaz et al. (1997) e Cakmak et al. (2010), avaliando métodos de aplicação de Zn, demonstraram que a aplicação de doses de Zn no solo melhorou a produtividade e a concentração de Zn nos grãos de trigo. Nesses trabalhos, o método mais eficaz para aumentar a concentração de Zn nos grãos foi a aplicação do nutriente no solo, conciliada à aplicação via foliar, podendo alcançar aumentos de três a quatro vezes na concentração de Zn nos grãos, em relação ao tratamento sem aplicação de Zn.

Resultados semelhantes foram observados por Ekiz et al. (1998) em cereais, sendo que, para estes, a aplicação de Zn no solo conciliada com pulverizações foliares foi o tratamento mais eficaz, com aumento de até três vezes na concentração desse micronutriente nos grãos, quando comparado ao controle. Avaliando métodos de aplicação de Zn em arroz em três países, Phattarakui et al. (2012) observaram que aplicações individuais de Zn via foliar e aplicações combinadas no solo e via foliar, foram mais efetivas no aumento da concentração de Zn nos grãos. Todavia, é importante destacar que a magnitude dos aumentos dos teores de Zn, embora significativos na maior parte dos casos, foram bastante inferiores quando comparados aos

estudos com trigo. Desta forma, observa-se que, na biofortificação agronômica por meio da adubação, ainda há necessidade de mais estudos para indicação mais segura de quais culturas e recomendações de manejo devem ser adotadas.

Em contraste ao observado para o Zn, para Fe, que é um nutriente com forte regulação genética, as práticas de manejo, principalmente adubação, apresentam pouca influência sobre as concentrações do elemento nos grãos (Moraes et al., 2009). Alguns pesquisadores explicam que essa baixa influência da adubação nos teores de Fe nos grãos é devida à rápida conversão deste elemento em formas indisponíveis, quando aplicado ao solo, e à sua baixa mobilidade no floema. Assim, tanto a adubação no solo como a foliar apresentam baixa eficácia (Rengel et al., 1999; Cakmak, 2008). Porém, vale relatar que incrementos nos teores de Fe nos grãos têm ocorrido de forma indireta. Tem se observado que aumentos nas concentrações de Zn nos grãos ocasionam pequenos incrementos nas concentrações de Fe, caracterizando um caso de sinergismo (Cakmak, et al., 2004; Morgon et al., 2007). Uauy et al. (2006) e Walters et al. (2009) relatam evidências a nível molecular quais estão relacionadas a remobilização e translocação de Zn e Fe para grãos, associado a co-localização dos mesmos cromossomos, indicando estreita relação entre os mecanismos moleculares e fisiológicos de ambos elementos. Trabalhos recentes têm demonstrado que a nutrição nitrogenada da planta, por meio da adubação no solo, resulta em aumento da concentração de Fe nos grãos, havendo correlação positiva entre concentração de N e concentração de Fe nos grãos de cereais (Cakmak et al., 2004; Distelfeld et al., 2007; Shi et al., 2010).

Apesar dos estudos sobre biofortificação agronômica estarem voltados com maior atenção para os micronutrientes Zn e Fe, nota-se significativo aumento nas pesquisas com o elemento Se, visto que, apesar de ainda não ser considerado essencial às plantas, é reconhecidamente um micronutriente na nutrição humana e animal. Diferentemente do observado para Zn e Fe, esse elemento apresenta baixa regulação genética, sendo seus teores nos produtos agrícolas alimentares altamente dependentes de sua concentração nos solos agrícolas, ou seja, é um elemento potencialmente responsivo quando aplicado na adubação via solo ou foliar (Moraes et al., 2010). Lyons et al. (2005) estudaram a variação genotípica para acumulação de selênio em grãos de 140 cultivares de trigo na Austrália e encontraram teores de Se nos grãos variando de 9-130 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Entretanto, os autores concluíram que os resultados variaram em grande parte devido ao ambiente, necessitando-se de mais estudos a respeito dos fatores envolvidos na variação genotípica para acumulação de selênio em grãos.

Até o momento a adição de Se em áreas agrícolas juntamente com fertilizantes inorgânicos NPK, parece ser a forma mais efetiva e segura de aumentar a concentração do elemento nos alimentos. Estudos realizados na Finlândia e Nova Zelândia, demonstraram aumento na concentração de Se em culturas alimentares pela adubação e, conseqüentemente, na ingestão de Se pela população (Eurola et al., 1990; Lyons et al., 2003; Hartikainen, 2005). Este é um excelente exemplo da contribuição da biofortificação agrônômica para melhoria da qualidade de grãos, em benefício da saúde humana.

São escassas as pesquisas que tratam da variação genotípica como fator preponderante na acumulação de Se em plantas cultivadas. O entendimento dos fatores envolvidos na variação genotípica quanto ao acúmulo de Se e sua interação, com a resposta das culturas ao Se como fertilizante poderá fornecer subsídios para posterior uso dessas informações no melhoramento vegetal e adubação da culturas para produção de alimentos de melhor qualidade nutricional.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo: i) Identificar possíveis variações genotípicas em cultivares de trigo quanto à acumulação natural de Se em grãos; ii) Avaliar a utilização e acúmulo de Se por cultivares de trigo, em razão da aplicação de Se como prática de manejo da fertilização do solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características gerais do selênio

O elemento selênio (Se) foi descoberto no ano de 1817 pelo químico suíço Jons Jacob Berzélius, numa lama residual encontrada em câmaras de chumbo usadas durante o processo de fabricação de ácido sulfúrico. No início, acreditou-se que se tratava do elemento telúrio, posteriormente, Berzélius concluiu que se tratava da descoberta de um novo elemento químico (Oliveira, 2006; Lenz & Lens, 2009). Seu nome teve origem na palavra grega “*Selene*” que significa deusa Lua, em homologia ao elemento telúrio que é quimicamente similar e cujo nome deriva da palavra “*Tellus*”, deusa Terra em latim (Fernandez-Martinez & Charlet, 2009).

Na classificação periódica o Se pertence ao grupo 16 (VI A) ou família dos calcogênios, possui número atômico 34, massa atômica relativa 78,96, ponto de fusão 220 °C e ponto de ebulição de 685 °C. É um metaloide ou não metal, cujos átomos têm afinidade eletrônica positiva, tendendo a se converterem em íons negativos ou ânions (Rozenberg, 2002; Fernandez-Martinez & Charlot, 2009). Dada sua complexidade, na natureza, o Se está presente (sob os números de oxidação -2 , 0 , $+2$, $+4$ e $+6$) em todos os materiais terrestres incluindo rochas, solos, ar, tecidos de plantas, de seres humanos e animais (Lenz & Lens, 2009).

2.2 Selênio nos solos

A principal via de entrada do Se na cadeia alimentar de animais e seres humanos é através das plantas, que por sua vez tem como seu principal meio de captação e abastecimento o solo. No entanto, sua biodisponibilidade depende da sua concentração no solo, que são controlados principalmente pelo material de origem, bem como pela dinâmica das formas químicas ou espécies de Se presentes neste meio (Neal et al., 1987; Nakamaru et al., 2005; Fernández Martinez & Charlet, 2009). O Se contido no meio ambiente é oriundo de fontes naturais, que são submetidas a processos geofísicos e biológicos e, fontes antropogênicas, quais respondem por processos industriais e de agricultura. Sendo a primeira, responsável pela existência do Se no ambiente, enquanto as demais, pela sua redistribuição (EHC, 1987; Fordyce, 2007; Lenz & Lens, 2009).

Como mencionado à cima, o Se naturalmente contido nos solos tem sua origem nos materiais formadores da crosta terrestre. Mesmo não existindo depósitos naturais ricos em Se,

este elemento está presente em carvões minerais ricos em enxofre encontrados em regiões dos Estados Unidos, Rússia e China, que podem alcançar concentrações de até 43 mg kg⁻¹. Concentrações muito mais altas também têm sido relatadas para algumas rochas fosfatadas (\leq 300 mg kg⁻¹) e alguns xistos escuros (600 mg kg⁻¹). Mas em geral, as concentrações de Se nas rochas são baixas. No grupo de rochas sedimentares (calcários, arenitos, argilitos, siltitos e folhelhos) é onde mais se concentra deste elemento, variando de 1 a mais de 100 mg kg⁻¹ (mas ainda sim, a maioria dos calcários e arenitos raramente excedem 0,1 mg kg⁻¹), em relação aos grupos de rochas ígneas e metamórficas, que podem alcançar no máximo até 1 mg kg⁻¹ (World Health Organization, 1987; Fordyce, 2007). De acordo com a Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2003), estima-se que, os processos de intemperismo de rochas contribuem com a liberação de aproximadamente 100 a 200 toneladas de Se anualmente. Não menos importante no aporte de Se ao solo, as atividades antropogênicas respondem por sua redistribuição, impulsionadas pela queima de combustíveis fósseis, extração e processamento de vários minerais como cobre, zinco, urânio e fosforo, uso de defensivos e fertilizantes agrícolas, especialmente os fosfatados, indústria de manufaturados como fármacos médicos e veterinários, vítreos, de baterias e dispositivos eletrônicos (Girling, 1984; Fishbein, 1991). Além da disposição de lodo de esgoto, águas residuais e resíduos de indústrias e domicílios (Dhillon & Dhillon, 2003).

Por ser um elemento onipresente, existindo ao mesmo tempo em toda parte, o Se subsidiado ao solo, entretanto, é um dos mais dispersos, resultando em regiões com níveis naturais muito baixos ou muito elevadas (EHC, 1987; Neal, 1995). Segundo Fordyce (2007), sua distribuição global nos solos pode variar de 0,005 mg kg⁻¹, em regiões da Finlândia, para até 8.000 mg kg⁻¹ em Tuva, na Rússia. Embora as concentrações de Se nos solos possam variar de tal maneira, normalmente, a amplitude de variação para maioria dos solos está entre 0,01 a 2,0 mg kg⁻¹, com valor médio de 0,4 mg kg⁻¹. A amplitude de variação para entre os solos considerados deficientes em Se ou que estejam abaixo do nível crítico (0,1 mg kg⁻¹) e solos seleníferos, de alta concentração em Se, é considerada relativamente baixa e estreita, de $<0,1$ mg kg⁻¹ e $>0,5$ mg kg⁻¹, respectivamente, e muita das vezes distanciados por poucos quilômetros. (Dhillon & Dhillon, 2003; Fordyce, 2007). Países como China, Tibete, Nova Zelândia, Rússia, Finlândia, (Combs, 2001; Coppinger & Diamond, 2001) e o Brasil, são caracterizados por disporem da maioria de suas regiões com solos deficientes em Se (Paiva Neto & Gargantini, 1956; Fichtner et al., 1990; Anno, 2001; Faria, 2009; Moraes et al., 2009).

Com a ação do intemperismo químico sobre rochas, o Se é oxidado as espécies químicas de selenato (SeO_4^{-2}) e selenito (SeO_3^{-2}) (Kabata-Pendias & Pendias, 2001; Fernandez-Martinez & Charlet, 2009). Os íons de SeO_4^{-2} são predominantes em ambientes de pH neutros a alcalinos (7,0 a 8,5) como algumas águas e solos de regiões de clima árido e semi-árido, originados de rochas sedimentares, o que lhe confere uma alta mobilidade nesses meios (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Já os íons de SeO_3^{-2} predominam em ambientes de alta umidade (regiões temperadas úmidas) e em solos ácidos (pH 4,5 a 6,5), tendo sua disponibilidade diminuída pela ligação a sesquióxidos, em especial de Fe e, a compostos de matéria orgânica (Neal, 1995; Nakamaru et al., 2005). Em solos alcalinos, o SeO_3^{-2} logo é oxidado a SeO_4^{-2} solúvel, assim aumentando sua disponibilidade (Geering et al., 1968; Girling, 1984; Fordyce, 2007). Em alguns casos, o SeO_3^{-2} resultante de processos de oxidação são considerados estáveis e móveis até serem adsorvidos pela fração coloidal (mineral ou orgânica), o que pode resultar altas concentrações de Se em carvões, bem como em sedimentos argilosos (Dhillon & Dhillon, 2003). O Se na forma elementar (Se^0) é praticamente insolúvel, mas pode ser oxidado a SeO_3^{-2} em via microbiológica e quimicamente oxidado em condições alcalinas ou fracamente ácidas. O SeO_3^{-2} é reduzido a Se^0 em condições redutoras moderadas, ao passo que a redução do SeO_4^{-2} ocorre em condições de redução mais drásticas. Na sua forma mais reduzida de gás hidreto de selênio (SeH_2) ocorre como um gás tóxico, que no entanto, é rapidamente oxidado a Se^0 na presença de ar. Além das espécies inorgânicas, o Se também está presente no ambiente sob formas orgânicas compostas por seleno-aminoácidos, seleno-proteínas, bem como sob formas de compostos voláteis, resultante da metilação biológica, qual tem um papel significativo no ciclo desse elemento (EHC, 1987; Neal, 1995; Fishbeins, 1991).

Tais características químicas e de dinâmica conferem ao Se propriedades e comportamento similares as do elemento enxofre (S), sendo capaz de formar compostos nos seus três estados de oxidação -2 , $+4$ e $+6$, o que permite sua combinação com uma variedade de elementos, se encontrado disperso na natureza. Em seu estado nativo, o Se ocorre em cerca de 50 minerais, formando compostos de S que estão associados com sulfetos naturais como piritas, calcopirita e esfarelita (Lenz & Lens, 2009) e com metais, sendo os mais comuns: clockmanita (CuSe); ferroselita (FeSe); clausalita (PbSe) (às vezes associado com a galena - PbS), naumanita (Ag_2Se , comum em minas de Cu); e tiemanita HgSe . Além de formar um grande número de compostos orgânicos que são análogos aos compostos orgânicos que contém S (Kabata-Pendias & Pendias, 2001; Zhang et al., 2008).

Cabe salientar que as espécies ou formas químicas de Se ocorrem em proporções divergentes, devido a influência das condições biogeoquímicas do solo, como mencionado, que são governadas por fatores como pH, potencial redox, textura e mineralogia do solo, teor de matéria orgânica, efeitos microbiológicos e presença de íons competitivos. O que faz do seu comportamento e a geobiodisponibilidade de Se em solos bastante instável (Lisk, 1972; Neal et al., 1987; Kabata-Pendias & Pendias, 2001; Goodson et al., 2003; White & Broadley, 2008; Kabata-Pendias, 2011).

2.3 Selênio em plantas

As plantas são capazes de adquirir o Se do ambiente, sendo predominantemente, através da absorção de formas minerais dos íons selenato (SeO_4^{-2}) e selenito (SeO_3^{-2}). O Se quando na forma de SeO_4^{-2} é tido como um análogo ao íon sulfato (SO_4^{-2}) e desta forma é absorvido ativamente pelos mesmos sítios transportadores desse último (Asher et al., 1977; Terry et al., 2000). Ao passo que o Se quando na forma de SeO_3^{-2} ainda não têm o seu mecanismo de absorção totalmente compreendido, sendo sugerida sua absorção por meio de difusão passiva ou ainda podendo também ser absorvido ativamente por intermédio de sítios transportadores de fosfatos (H_2PO_4^- e $\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$) (Terry et al., 2000; White et al., 2004; Sors et al., 2005; Li et al., 2008). Vale ressaltar que, além das formas minerais, as plantas também são capazes de absorver ativamente Se em formas orgânicas como de seleno-metionina (Zayed et al., 1998; Terry et al., 2000).

O SeO_4^{-2} após ser absorvido na raiz continua seus processos bioquímicos pelas mesmas vias de assimilação do enxofre (S) compartilhando os mesmos mecanismos (Chang et al., 2008; Pilon-Smits & Quinn, 2010). Ainda em sua forma iônica, é transportado via xilema até os plastídios celulares das folhas onde a ATP-sulfurilase (*APS*) inicia a assimilação com a transformação do SeO_4^{-2} em adenosina fosforoselenato (*APSe*) que em seguida, sofre processo de redução a SeO_3^{-2} pela ação da enzima adenosina fosforoselenato redutase (*APR*). Posteriormente, o SeO_3^{-2} é transformado em Se^{-2} pela atividade da sulfito redutase e por fim, o Se^{-2} é convertido em seleno-cisteína (SeCys) pela ação da O-acetilserina (tiol)liase (*OAS*). A SeCys é rapidamente sintetizada em outros compostos como metilseleno-cisteína (MeSeCys) e proteínas. Diferente da SeCys, o processo de formação da seleno-metionina (SeMet) ocorre no citosol a partir de Sehomocys resultante da ação da metionina sintetase. Ainda no citosol a SeMet pode ser transformada em compostos voláteis de Se, proteínas ou, seguir para o plastídios e

formar outras proteínas. O Se pode ser volatilizado em meio ao seu processo metabólico que, ocorre em duas vias. Na primeira, localizada no citosol, há quebra da SeMet que é transformada em metilselenometionina (*metil-SeMet*) pela ação da metionina metiltransferase, que resulta num produto intermediário chamado de dimetilselenopropionato (*DMSeP*), o qual logo em seguida, é transformado em di-metil seleneto (*DMSe*), forma de composto volátil produzida que é considerada a principal em plantas do grupo das não acumuladoras de Se (Lewis et al., 1966). Na segunda via de volatilização de compostos de Se, a enzima SeCys-metiltransferase transforma a SeCys em methyl-SeCys, qual logo em seguida, é transformada em di-metil-di-seleneto (*DMDSe*). Todo esse processo ocorre dentro dos plastídios das folhas sendo característico em plantas do grupo das acumuladoras de Se que sintetizam o DMDSe e assim, resultam no odor e sabor próprio desse grupo como por exemplo as brassicas (Whitaker, 1976; Kubec et al., 1998).

Em condição de maior disponibilidade de Se na forma de SeO_4^{-2} , ocorre que o SO_4^{-2} pode inibir diretamente seu processo de assimilação e desta forma a redução do SeO_4^{-2} a SeO_3^{-2} é limitada na via, podendo assim, ocorrer uma acumulação dessa forma inorgânica de Se na planta (Ulrich et al., 1968; Lyi et al., 2005; Pilon-Smits & Quinn, 2010). Já o Se quando disponível na forma de SeO_3^{-2} , logo que absorvido pelas raízes, nessa mesma região, é quase que totalmente assimilado e, posteriormente, os produtos dessa assimilação (formas orgânicos de Se) são distribuídos pela planta (Sors et al., 2005; Li et al., 2008). Embora o SeO_4^{-2} possa ter seu processo de assimilação dificultado pela competição com o SO_4^{-2} em determinado momento, sua absorção e distribuição pela planta é mais rápida que o SeO_3^{-2} , podendo ocorrer um acúmulo total de Se na planta de até 10 vezes mais em relação ao SeO_3^{-2} (Souza et al., 1998; Pilon-Smits et al., 1999; Cartes et al., 2005).

Em relação ao potencial para acumular Se, as plantas superiores podem ser classificadas desde em não acumuladoras até a hiperacumuladoras (Terry et al., 2000; Dhillon & Dhillon, 2003; White et al., 2004). As hiperacumuladoras são divididas em dois subgrupos, que são eles: o das acumuladoras primárias, capazes de acumular até mais de 2000 mg kg^{-1} de massa seca e o das acumuladoras secundárias, que podem acumular pouco mais de 100 mg kg^{-1} de massa seca (Terry et al., 2000; Dhillon & Dhillon, 2003; White et al., 2004). Algumas espécies de brassicas como a mostarda indiana, brócolis e canola são tidas como acumuladoras primárias. Já as plantas classificadas como não acumuladoras, geralmente não atinge mais que 25 mg kg^{-1} de massa seca (Terry et al., 2000; White et al., 2004). A grande maioria das culturas agrícolas

(cereais) é classificada como não acumuladoras, apresentando baixa tolerância a altos níveis de Se em seu meio de crescimento (White et al., 2004).

A distribuição do Se e a forma do seu composto orgânico como produto final nos vários compartimentos da planta difere de acordo com as espécies, fase de desenvolvimento e condições fisiológicas. Em plantas do tipo acumuladoras de Se, esse é acumulado em folhas jovens durante a fase vegetativa e quando na fase reprodutiva, são encontrados altos níveis de Se em sementes que embora possa conter relevantes quantidades de Se na forma de seleno-metionina, predominantemente, o Se ocorre na forma de aminoácidos metilados. Isso enquanto o seu conteúdo nas folhas é reduzido drasticamente. No caso de plantas não acumuladoras, tomando como exemplo as espécies cultivadas de cereais, quando completam seu ciclo, frequentemente demonstram o mesmo conteúdo de Se em grãos e raízes e quantidades menores em caules e folhas, sendo predominantemente na forma de aminoácidos seleno-metionina. E por ultimo, a distribuição do Se e suas formas estão intimamente dependentes da fonte, concentração e disponibilidade às raízes, natureza e concentração de outras substâncias, especialmente sulfatos acompanhando o elemento (Souza et al., 1998; Zayed et al., 1998; Sors et al., 2005).

2.4 Selênio em seres humanos e animais

Até não muito tempo, o Se foi apenas discriminado como um elemento nocivo e potencialmente tóxico a saúde de animais e seres humanos. No ano de 1957, sua essencialidade foi comprovada depois de promover a defesa hepática de ratos deficientes em vitamina E (Draize & Beath, 1935; Ellis & Salt, 2003; Zeng, 2009). Desde então, vêm sendo amplamente reconhecido que o Se é um constituinte de grupos aminoácidos essenciais como seleno-cisteína e seleno-metionina, quais estão diretamente relacionados com a síntese de muitas enzimas e proteínas, as chamadas seleno-enzimas e seleno-proteínas, como a glutathione peroxidase (GSH-Px), que atua como protetora antioxidante, a tioredoxina redutase (TrxRs), que tem regulação redox e a iodotironina 5' deiodinase, responsável pela regulação dos hormônios tireoidianos em tecidos periféricos (Rotruck et al., 1973; Larsen & Berry, 1995; Tamura & Stadtman, 1996). Outros compostos orgânicos de Se, formas não proteicas, também são reconhecidos por seus efeitos benéficos a saúde humana, sendo de propriedades anticarcinogênicas. Como os compostos orgânicos metilados de Se, especialmente os aminoácidos monometilados *Se*-metil-seleno-cisteína e γ -glutamil-*Se*-metil-seleno-cisteína, que possuem efeitos anticancerígenos

bastante significativos (Dong et al., 2001; Lee et al., 2006; Wang et al., 2009; Riaz & Mehmood, 2012).

A insuficiência de Se no organismo pode acarretar diversas patologias. A doença de Kashin-Beck ou KBD, uma doença crônica osteoarticular degenerativa, é o exemplo mais clássico e que na maioria dos casos é fatal (Coppinger & Diamond, 2001). Ainda, a dramática redução nas atividades de seleno-proteínas pode causar o desenvolvimento de doenças como disfunções nas glândulas tireoides (Riaz & Mehmood, 2012), lesões cerebrais irreversíveis, doenças vasculares periféricas, infertilidade masculina em animais e homens (Wu, 1973; Iwanier & Zachara, 1995), pré-eclâmpsia em mulheres, bem como altos índices de abortos em animais (Hidirolou, 1979; Sanders, 1984; Barrington et al., 1997) e maior suscetibilidade a vários tipos de câncer (Clark et al., 1996; Rayman, 2002). Além de uma redução drástica da resposta imunológica as infecções virais (sarampo, hepatite, gripe e HIV-AIDS) (Sappey et al., 1994; Beck et al., 2001; Beck et al., 2003). Os relatos de morbidades em função da deficiência de Se, têm sido frequente em diversas partes do mundo, principalmente onde os teores de Se em plantas e solos são baixos, em particular, áreas rurais da China, Tibete e Sibéria, regiões que apresentam severas restrições de disponibilidade de Se no solo (Coppinger & Diamond, 2001; Zeng, 2009).

Da mesma forma que a deficiência de Se causa inúmeras doenças, seu excesso também responde por diversas outras desordens no organismo (Riaz & Mehmood, 2012). O primeiro caso confirmado de intoxicação por Se ocorreu antes mesmo de sua essencialidade ser descoberta, isso no ano 1933, quando foi detectada sua presença no fígado de animais domésticos que morreram após terem ingerido plantas acumuladoras de Se, no caso as espécies *Astragalus*, *Xylorriza*, *Onopus* e *Stanleya*. (Draize & Beath, 1935; Schwarz & Foltz, 1957).

Atribui-se que sua toxicidade esteja relacionada, diretamente, à sua habilidade pro-oxidante, catalisando a oxidação dos tióis e, simultaneamente, quando em altas concentrações, gerando radicais superóxidos. Esse fenômeno, conhecido como estresse oxidativo, provoca morte celular por apoptose ou necrose (Rizzo et al., 2007). A intoxicação por Se é comumente chamada de selenose crônica ou doença alcalina do gado (Washington, 1976). Vários autores descrevem que os primeiros sintomas clínicos de selenose em indivíduos são de odor característico de alho, ocorrência de cabelos quebradiços, de unhas deformadas, surgimento de brotoejas e ressecamento da pele (Rizzo et al., 2007) que podem progredir para o aparecimento

de dores e ondas de calor pelo corpo, bem como distúrbios gastrointestinais, fadiga, irritabilidade e danos neurológicos (Yang & Zhou, 1994; Yang & Xia, 1995).

Nesse sentido, a faixa entre a deficiência e a toxicidade de Se é relativamente estreita e variável (Tan et al., 2002). Segundo Yang & Zhou (1994), Yang & Xia (1995), é possível de ser ingerido até 800 $\mu\text{g dia}^{-1}$ de Se sem que haja nenhum efeito adverso à saúde, no entanto, os mesmos autores sugerem que a faixa de 400-600 $\mu\text{g dia}^{-1}$ de Se é a mais indicada, não só por ser a mais segura em evitar a toxicidade, mas também para que se evite um desequilíbrio de nutrientes na dieta. Já o Instituto de Medicina da Academia Nacional de Ciência dos Estados Unidos, estabelece como faixa adequada de consumo de Se por pessoa adulta a quantidade mínima requerida e a máxima tolerável de 55 e 400 $\mu\text{g dia}^{-1}$, respectivamente (Bendich, 2001).

Os alimentos são as principais fontes de Se para os seres humanos. Desta forma, os alimentos de origem animal contêm principalmente Se na forma do aminoácido seleno-cisteína (forma análoga ao aminoácido cisteína). A maioria dos vegetais consumidos é de cereais e esses concentram o Se principalmente na forma de aminoácidos seleno-metionina (forma análoga ao aminoácido metionina). À exemplo das espécies de brassicas, cebola e alho, além de conter Se na forma de seleno-metionina, sua maior porção de Se está na forma de seleno-cisteína e formas metiladas. A forma inorgânica de Se pode ser encontrada em algumas espécies de plantas, peixes e na água (Sathe et al., 1992; Whanger, 2002; Finley, 2006; Rayman, 2012).

A suplementação com aditivos enriquecidos de Se é uma via alternativa para suprir a má ingestão por alimentos naturais. Normalmente esses produtos são fornecidos na forma mineral, formas inorgânicas de selenato ou selenito, mas também, pode ser disponibilizado através de leveduras que apresentam predominantemente o Se na forma orgânica de seleno-metionina e seleno-cisteína (Thomson, 2004; Veatch et al., 2005; Finley, 2006). Apesar de a suplementação ser uma forma alternativa de combater a deficiência em Se, estudos tem alertado que principalmente as formas inorgânicas possuem menor biodisponibilidade e maior risco de toxidez por ingestão excessiva como relatado por Aldosary et al. (2012) e Morris & Crane (2013).

3 REFERÊNCIAS CITADAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR SELENIUM. GEÓRGIA: 2003. Disponível em: <www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp92-p.pdf>. Acesso em: 01/02/2015.

ALLEN, L.; BENOIST, B.; DARY, O.; HURRELL, R. Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneva: WHO/FAO, p.341, 2006.

ALDOSARY, B. M. et al. Case series of selenium toxicity from a nutritional supplement. *Clinical Toxicology*, New York, v.50, n.1, p.57-64, 2012.

ANNO, R.M. Trabalho de conclusão do Curso de Graduação em Zootecnia. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, USP, Pirassununga, p.30, 2001.

ASHER, C. J.; BUTLER, G. W.; PETERSON, P. J. Selenium transport to roots system of tomato. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.28, n.2, p.279-291, 1977.

BECK, M. A. NELSON, H. K.; SHIO Q.; VAN DAEL, P.; SCHIFFRIN, E. J.; BLUM, S.; BARCLAY, D.; LEVANDER, O. A. Selenium deficiency increases the pathology of an influenza virus infection. *Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, Bethesda, v.15, n.8, p.1481-1483, 2001.

BECK, M. A.; LEVANDER, O. A.; HANDY, J. Selenium deficiency and viral infection. *Journal of Nutritional*, Bethesda, v.133, n.5, p.1463-1467, 2003.

BENDICH, A. Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids. *Journal of Nutrition*, Philadelphia, v.17, n.4, p.364-365, 2001.

BARRINGTON, J. W. et al. Selenium and recurrent miscarriage. *Journal of Obstetrics and Gynaecology*, London, v.17, n.2, p.199-200, 1997.

CARTES, P.; GIANFERA, L.; MORA, M. L. Uptake of selenium and its antioxidative activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. *Plant and Soil*, The Hague, v.276, n.1/2, p.359-367, 2005.

CAKMAK, I.; TORUN, A.; MILLET, E.; FELMAN, M.; FAHIMA, T.; KOROLA, A.; NEVO, E.; BRAUN, H. J.; OZKAN, H. Triticum dicoccoides: an important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Science and Plant Nutrition*. v. 50, p. 1047-1054, 2004.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*. v.302, n.1-2, p.1-17, 2008.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; McCLAFFERTY, B. Biofortification of durum with zinc and iron. *Cereal Chemistry*. v. 87, p. 10-20, 2010.

CHANG, P. T. et al. Nutrient solution concentrations of Na₂SeO₄ affect the accumulation of sulfate and selenate in *Brassica oleracea* L. *HortScience*, Alexandria, v.43, n.3, p.913-918, 2008.

COELHO, N. M. M.; BACCAN, N. Determinação de ultratraços de selênio em urina por geração de hidretos e espectrometria de absorção atômica em fluxo. *Eclética Química*, Marília, v.29, n.1, p.7-14, 2004.

COMBS JUNIOR, G. F. Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*, Crambridge, v. 85, n.5, p.517-547, 2001.

COPPINGER, R. J.; DIAMOND, A. M. Selenium deficiency and human disease. In: HATFIELD, D. L. *Selenium: its molecular biology and role in human health*. Dordrecht: Kluwer Academic, chap.18, p.219-233, 2001.

COPPINGER, R. J.; DIAMOND, A. M. Selenium deficiency and human disease. In: HATFIELD, D. L. *Selenium: its molecular biology and role in human health*. Dordrecht: Kluwer Academic. chap.18, p.219-233, 2001.

CLARK, L. C. et al. Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin: a randomized controlled trial. *Journal of American Medical Association*, Chicago, v.276, n.24, p.1957-1963, 1996.

COZZOLINO, S. M. F. A importância dos micronutrientes na saúde das populações. *Brasil Alimentos*, São Paulo, n.5, p.18-22, 2000.

DISTELFELD, A.; CAKMAK, I.; PELEG, Z.; OZTURK, L.; YAZICI, A. M.; BUDAK, H.; SARANGA, Y.; FAHIMA, T. Multiple QTL-effects of wheat *Gpc-B1* locus on grain protein and micronutriente concentrations. *Physiologia Plantarum*. v. 129, p. 635-643, 2007.

DONG, Y. et al. Characterization of the biological activity of γ -glutamyl Semethylselenocysteine: a novel, naturally occurring anticancer agent from garlic. *Cancer Research*, Philadelphia, v.61, n.7, p.2923-2928, 2001.

DHILLON, K. S.; DHILLON, S. K. Distribution and management of seleniferous soils. *Advances in Agronomy*, New York, v.79, n.1, p.119-184, 2003.

DRAIZE, J. H.; BEATH, O. A. Observations on the pathology of “blind staggers” and “alkali disease”. *American Veterinary Medical Association*, Washington, v.86, n.3, p.753- 763, 1935.

ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA. Selenium. World Health Organization, Geneva, p.58, 1987.

ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Plants, selenium and human health. *Current Opinion in Plant Biology*, Oxford, v.6, n.3, p.273-279, 2003.

EUROLA, M.; EKHOLOM, P.; YLINEN, M.; KOIVISTOINEN, P.; VARO, P. Effects of selenium fertilization on the selenium content of cereal grains, flour, and bread produced in Finland. *Cereal Chem.* 67(4): 334–337. 1990.

EKIZ, H.; BAGCI, S. A.; KIRAL, A. S.; EKER, S.; GULTEKIN, I.; ALKAN, A.; CAKMAK, I. Effects of zinc fertilization and irrigation on grain yield and zinc concentration of various cereals grown in zinc-deficient calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, v. 21, p. 2245-2256, 1998.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. 2012. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>> acesso em: 06 de janeiro 2015.

FARIA, L. A. Levantamento sobre selênio em solos e plantas do estado de São Paulo e sua aplicação em plantas forrageiras. p.57, 2009. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

FERNÁNDEZ-MARTINEZ, A.; CHARLET, L. Selenium environmental cycling and bioavailability: a structural chemist point of view. *Environmental Science Biotechnology*, Ashford, v.8, n.1, p.81-110, 2009.

FERREIRA, K. S.; GOMES, J. C.; BELLATO, C. R.; JORDÃO, C. P. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 11, n. 3, p. 172-177, 2002.

FINLEY, J. W. Bioavailability of selenium from foods. *Nutrition Reviews*, Malden, v.64, n.3, p.146-151, 2006.

FICHTNER, S. S. et al. Estudo da composição mineral de solos, forragens e tecido animal de bovinos do município de Rio Verde, Goiás: IV - cobre, molibdênio, selênio. *Anais das Escolas de Agronomia e Veterinária*, Goiânia, v.20, n.1, p.1-6, Jan.1990.

FISHBEIN, L. Metals and their compounds in the environment. Occurrence, Analysis and Biological Relevance In: E. Merian (ed.) VCH, 1991.

FORDYCE, F. M. Selenium geochemistry and health. *Ambio*, Stockholm, v.36, n.1, p.94-97, Feb. 2007.

GEERING, H. R.; CARY, E. E.; JONES, L. H. P.; ALLAWAY, W. H. Solubility and redox criteria for the possible forms of selenium in soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.32, p.36-40, 1968.

GIRLING, C. A. Selenium in agriculture and the environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.11, p.37-65, 1984.

GISSEL-NIELSEN, G.; GUPTA, U. C.; LAMAND, M.; WESTERMARCK, T. Selenium in soils and plants and its importance in livestock and human nutrition. *Advances in Agronomy*, v.37, p.397-460, 1984.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C.A.; BEEBE, S. E.; POTTS, M. J.; KADIAN, M.; HOBBS, P. R.; GUPTA, R. K.;

TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. *Advances in Agronomy*, v.92, p.1-74, 2007.

HARTIKAINEN, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v. 18, p. 309-318, 2005.

HIDIROGLOU, M. Trace element deficiencies and fertility in ruminants: a review. *Journal of Dairy Science*, London, v.62, n.8, p.1195-1206, 1979.

IWANIER, K.; ZACHARA, B. Selenium supplementation enhances the elemento concentration in blood and seminal fluid but does not change the spermatozoal quality characteristics in subfertile men. *Journal of Andrology*, Schaumburg, v.16, n.5, p.441-447, 1995.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC, p.331, 2001.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. 4. ed. New York: CRC Press, 2011.

KUBEC, R.; DRHOVA, V.; VELISEK, J. Thermal degradation of Smethylcysteine and its sulfoxide-important flavor precursors of Brassica and Allium vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v.46, n.10, p.4334-4340, 1998.

LARSEN, P. R.; BERRY, M. J. Nutritional and hormonal regulation of thyroid hormone deiodinases. *Annual Review of Nutrition*, Washington, v.15, n.3, p.323-352, 1995.

LEE, S. O. et al. Monomethylated selenium inhibits growth of LNCaP human prostate cancer xenograft accompanied by a decrease in the expression of androgen receptor and prostate-specific antigen (PSA). *Prostate*, Malden, v.66, n.10, p.1070-1075, 2006.

LENZ, M.; LENS, P. N. L. The essential toxin: the changing perception of selenium in environmental sciences. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.12, n.12, p.3620-3633, 2009.

LEWIS, B. G.; JOHNSON, C. M.; DELWICHE, C. C. Release of volatile selenium compounds by plants: collection procedures and preliminar observations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v.14, n.6, p.638-640, 1966.

LI, H. F.; MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. *New Phytologist*, Malden, v.178, n.1, p.92-102, 2008.

LISK, D. J. Trace metals in soils, plants, and animals. *Advances in Agronomy*, v. 24, p.267-311, 1972.

LYONS, G. H.; STANGOULIS, J.; GRAHAM, R. High-selenium wheat: biofortification for better health. *Nutrition Research Reviews*, v. 16, p. 45-60, 2003.

LYI, S. M. et al. Molecular and biochemical characterization of the selenocysteine Se-methyltransferase gene and Se-methylselenocysteine synthesis in broccoli. *Plant Physiology*, Rockville, v.138, n.1, p.409-420, 2005.

LYONS, G. H.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; STANGOULIS, J.; GRAHAM, R. Selenium concentration in wheat grain: Is there sufficient genotypic variation to use in breeding? *Plant and Soil*, v.269, n.1-2, p.369-380, 2005.

MORAES, M. F.; WELCH, R. M.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. Evidences of selenium deficiency in Brazil: from soil to human nutrition. In: BANUELOS, G. R.; LIN, Z. G.; YIN, X. B. (Eds). *First International Conference on Selenium in the Environment and Human Health*, 2009, Suzhou. Selenium: deficiency, toxicity and biofortification for human health. 116p. Hefei: University of Science and Technology of China Press, p.73-74, 2009.

MORAES, M. F.; ABREU JUNIOR, C. H.; HART, J. J.; WELCH, R. M.; KOCHIAN, L. V. Genotypic variation in micronutrient and cadmium concentrations in grains of 35 upland rice cultivars. In: *World Congress of Soil Science*, 19, 2010, Brisbane, Australia. *Proceedings...* Brisbane: Queensland Government, 3p. (CD-ROM) 2010.

MORRIS, J. S.; CRANE, S. B. Selenium toxicity from a misformulated dietary supplement, adverse health effects, and the temporal response in the nail biologic monitor. *Nutrients*, Basel, v.5, n.4, p.1024-1057, 2013.

MORGONUOV, A.; GÓMEZ-BECERRA, H.F.; ABUGALIEVA, A.; DZHUNUSOVA, M.; YESSIMBEKOVA, M.; MUMINJANOV, H.; ZELENSKIY, Y.; OZTURK, L.; CAKMAK, I. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. *Euphytica* 155:193- 203. 2007.

NAKAMARU, Y.; TAGAMI, K.; UCHIDA, S. Distribution coefficient of selenium in Japanese agricultural soils. *Chemosphere*, v.58, p.1347-1354, 2005.

NEAL, R. H. Selenium. In: ALLOWAY, B. J. *Heavy metals in soils*. 2. ed. New York: Wiley, p.260-283, 1995.

NEAL, R. H.; SPOSITO, G.; HOLTZCLAW, K. M.; TRAINA, S. J. Selenite adsorption on alluvial soils. I. Soil composition and pH effects. *Soil Science Society American Journal*. v.51, p.1161-1165, 1987.

NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V.; FUKUDA, W. M. G.; SILVA, J. B. C.; PELOSO, M. J.; NEVES, P. C. F.; ROCHA, M. M.; SCHAFFERT, R. E.; SHEEREN, P. L.; RAMOS, S. R. R.; CARVALHO, H. W. L.; CURADO, F. F.; FIGUEIREDO, R.; SALVADOR, L.; SILVA, E. M. M.; RANGEL, C. N.; BOUIS, H. Strategies for Biofortification in Brazil. In: Ismail Serageldin; Ehsan Massod; Mohamed El-Faham; Marwa El-Wakil. *Org. From Promises to Practice. Applications of Science and Technology in Food, Healthcare, Energy and Environment*. BioVision Alexandria 2008. 1ed.Alexandria: Bibliotheca Alexandrina, p. 177-193, 2010.

OLIVEIRA, C. G. R. Desenvolvimento de bioprocesso para a produção de biomassa de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) rica em organoselênio. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p.77, 2006.

PAIVA NETO, J. E.; GARGANTINI, H. Dosagem de selênio no solo. *Bragantia*, v.15, n.1, p.13-16, 1956.

PAPPAS, A. C. et al. Selenoproteins and maternal nutrition. *Comparative Biochemistry and Physiology*, Oxford, v.151, n.1, p.361-372, 2008.

PHATTARAKUI, N.; RERKASEM, B.; LI, L. J.; WU, L. H.; ZOU, C. Q.; RAM, H.; SOHU, V. S.; KANG, B. S.; SUREK, H.; KALAYCI, YAZICI, M. A.; ZHANG, F. S.; CAKMAK, I. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. *Plant and Soil*, v. 361, p. 131-141, 2012.

PILON-SMITS, E. et al. Overexpression of ATP sulfurylase in Indian mustard leads to increased selenate uptake, reduction, and tolerance. *Plant Physiology*, Rockville, v.119, n.2, p. 123-132, 1999.

PILON-SMITS, E.; QUINN, C. Selenium metabolism in plants. In: HELL, R.; MENDEL, R. R. (Ed.). *Cell biology of metals and nutrients*. Berlin: Plant Cell Monographs. chap.10, p.225-241, 2010.

RAYMAN, M. P. The argument for increasing selenium intake. *Proceedings of the Nutrition Society*, London, v.61, n.2 p.203-215, 2002.

RAYMAN, M. P. Selenium and human health. *Lancet*, New York, v.379, n.9822, p.1256-1268, 2012.

RENGEL, Z.; BATTEN, G.D.; CROWLEY, D.E. Agronomic approaches for improving the micronutrient density of edible portions of field crops. *Field Crops Research*, v.60, p.27-40, 1999.

RIAZ, M.; MEHMOOD, K. T. Selenium in human health and disease: a review. *Journal of Postgraduate Medical Institute*, Peshawar, v. 26, p.120-133, 2012.

RIZZO, A. C. L.; MILLIOLI, V.; LEMOS, J. L. S.; VALDMAN, E.; SANTOS, R. L. C. Série tecnologia ambiental: Processos biológicos de remoção de selênio de efluentes. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro. p.46, 2007.

ROTRUCK, J. T. et al. Selenium biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science*, Washington, v.179, n.4073, p.588-590, 1973.

ROZENBERG, I. M. *Química Geral*, Edgard Blücher Ltda. 1º ed. São Paulo, 2002.

SANDERS, D. E. Use of selenium in problem cattle herds. *Modern Veterinary Practice*, Santa Barbara, v.65, n.2, p.136-138, 1984.

SANDS, D. C.; MORRIS, C. E.; DRATZ, E. A.; PILGERAM, A. L. Elevating optimal human nutrition to a central goal of plant breeding and production of plant-based foods. *Plant Science*. v.177, p.377–389, 2009.

SAPPEY, C. et al. Stimulation of glutathione peroxidase activity decreases HIV Type 1 activation after oxidative stress. *Journal of AIDS Research and Human Retrovirology*, New Rochelle, v.10, n.11, p.1451-1461, 1994.

SATHE, S. K.; MASON, A. C.; RODIBAUGH, R.; WEAVER, C. M. Chemical form of selenium in soybean (*Glycine max* L.) lectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v.40, n.11, p.2084-2091, 1992.

SCHWARZ, K.; FOLTZ, C. M. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of American Chemical Society*, Washington, v.79, n.12, p.3292-3293, 1957.

SHI, R.; ZHANG, Y.; CHEN, X.; SUN, Q.; ZHANG, F.; ROMHELD, V.; ZOU, C. Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Cereal Science*, v. 51, p. 165-170, 2010.

SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. *Photosynthesis Research*, Dordrecht, v.86, n.3, p.373-389, 2005.

SOUZA, M. P. et al. Rate-limiting steps in selenium assimilation and volatilization by Indian mustard. *Plant Physiology*, Rockville, v.117, n.4, p.1487-1494, 1998.

TAMURA, T.; STADTMAN, T. C. A new selenoprotein from human lung adenocarcinoma cells: purification, properties, and thioredoxin reductase activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Melville, v.93, n.3, p.1006-1011, 1996.

TAN, J. A. et al. Selenium in soil and endemic diseases in China. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.284, n.1/3, p.227-235, 2002.

TERRY, N.; ZAYED, A. M.; SOUZA, M. P.; TARUN, A. S. Selenium in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Berkley, v.51, n.1, p.401-432, 2000.

THOMSON, C. D. Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review. *European Journal of Clinical Nutrition*, London, v.58, n.3, p.391-402, 2004.

UAUY, C.; DISTELFELD, A.; FAHIMA, T.; BLECHL, A.; DUBCOVSKY, J. A NAC gene regulating senescence improves grain protein, zinc, and iron content in wheat. *Science* 314:1298-1301, 2006.

ULRICH, J. M.; SHRIFT, A. Selenium absorption by excised *Astragalus* roots. *Plant Physiology*, Rockville, v.43, n.1, p.14-20, 1968.

VEATCH, A. E. et al. Selenium and nutrition: the accuracy and variability of the selenium content in commercial supplements. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Dordrecht, v.264, n.1, p.33-38, 2005.

WALTERS, B.M.; UAUY, C.; DUBCOVSKY, J.; GRUSAK, M.A. Wheat (*Triticum aestivum*) proteins regulate the translocation of iron, zinc, and nitrogen compounds from vegetative tissues to grain. *J Exp Bot* 60:4263-4274, 2009.

WANG, L. et al. Methyl-selenium compounds inhibit prostate carcinogenesis in the transgenic adenocarcinoma of mouse prostate model with survival benefit. *Cancer Prevention Research*, Philadelphia, v.2, n.5, p.484-495, 2009.

WASHINGTON, D. C. US./NRC. Selenium. National Academy of Science, National Research Council, Assembly of Life Science, Medical and Biological Effect of Environmental Pollutants, p.203, 1976.

WELCH, R. M.; COMBS, G. F.; DUXBURY, J. M. Toward a "greener" revolution. *Issues in Science and Technology*, v.14, n.1, p.50-58, 1997.

WELCH, R. M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). *Micronutrient deficiencies in global crop production*. New York: Springer, p.287-309, 2008.

WHANGER, P. D. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *Journal of the American College of Nutrition*, Clearwater, v.21, n.3, p.223-232, 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental Health Criteria for Selenium. Geneva: WHO, 1987. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc58.htm>>. Acesso em: 05/02/2015.

WHITE, P. J. et al. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.55, n.404, p.1927-1937, 2004.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science*, v. 10, p. 586-593, 2005.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, v.182, p.49-84, 2008.

WHITE, P. J.; BRADSHAW, J. E.; DALE, M. F. B.; RAMSAY, G.; HAMMOND, J. P.; BROADLEY, M. R. Relationships between yield and mineral concentrations in potato tubers. *HortScience*, v.44, n.1, p.6-11, 2009.

WHITAKER, J. R. Development of flavor, odor and pungency in onion and garlic. *Advances in Food Research*, Maryland, v.22, n.1, p.73-133, 1976.

WU, S. H. et al. Effect of selenium, vitamin E and antioxidants on testicular function in rats. *Biology of Reproduction*, Madison, v.8, n.5, p.625-629, 1973.

YANG, G. Q.; ZHOU, R. Further observations on the human maximum safe dietary selenium intake in a seleniferous area of China. *Journal of Trace Elements and Electrolytes in Health and Disease*, v.8/3-4, p.159-165, 1994.

YANG, G. Q.; XIA, Y. M. Studies on human dietary requirements and safe range of dietary intakes of selenium in China and their application in the prevention of related endemic diseases. *Biomedical and Environmental Sciences: BES* v.8/3, p.187-201, 1995.

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; TORUN, B.; GULTEKIN, I.; KARANLIK, S.; BAGCI, S. A.; KAKMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *Journal of Plant Nutrition*, v.20, p.461-471, 1997.

ZHÃO, F. & SHEWRY, R. P. Recent developments in modifying crops and agronomic practice to improve human health. *Food Policy*. v.36, p.94-101, 2011.

ZHANG, H. H. et al. Spatial distributions and potential risk analysis of total soil selenium in Guangdong Province, China. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.37, n.3, p.780-787, 2008.

ZHANG, W. A forecast analysis on world population and urbanization process. *Environment, Development and Sustainability*. v.10, n.6, p.717–730, 2008.

ZAYED, A. M.; LYTLE, C. M.; TERRY, N. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. *Planta*, Berlin, v.206, n.2, p.284-292, 1998.

ZENG, H. Selenium as an essential micronutrient: roles in cell cycle and apoptosis. *Molecules*, Basel, v.14, n.3, p.1263-1278, 2009.

CAPÍTULO II – VARIAÇÃO GENOTÍPICA NA CONCENTRAÇÃO E ACÚMULO NATURAL DE SELÊNIO NOS GRÃOS TRIGO

RESUMO

A variabilidade genética para acumulação de Fe e Zn em trigo é amplamente consolidada. Porém, em relação ao Se ainda existe pouca evidência quanto a possível influência genotípica na acumulação de Se nos grãos e alguns estudos descrevem não haver variabilidade genética significativa entre cultivares de trigo para concentração e acumulação de Se nos grãos, enquanto outros confirmam concentrações contrastantes. Foram selecionados 183 genótipos de trigo provenientes do banco de germoplasma da Embrapa Trigo e participantes do Programa Embrapa-HarvestPlus de Biofortificação, mediante critérios com base em características de desempenho agrônomo, qualidades tecnológicas e de potencial para biofortificação em micronutrientes (altos teores de Fe e Zn) nos grãos. O experimento foi disposto em dois blocos com parcelas sorteadas ao acaso, totalizando 372 parcelas. Ao final do estágio de maturação, as parcelas foram colhidas e os grãos submetidos à avaliação de rendimento e análise nutricional. Foram analisadas as concentrações de Se, macro e micronutrientes nos grãos. Apenas 46 cultivares se desenvolveram adequadamente e puderam ser avaliados. A produtividade de grãos variou de 975 a 3274 kg ha⁻¹, com destaque para os cultivares Abalone, Embrapa 21, Londrina e Mentana, que tiveram rendimento de grãos de 2117, 2666, 2495 e 2254 kg ha⁻¹, respectivamente. Houve contraste de rendimento em virtude da evolução dos cultivares pelo melhoramento genético, sendo os cultivares atuais de maior desempenho. Ocorreu ampla variabilidade na concentração de Se nos grãos, com concentrações de <8,13 a 189,05 µg kg⁻¹ e valor médio geral de 43,71 µg kg⁻¹. As maiores concentrações de Se foram observadas nos cultivares Londrina (189,05 µg kg⁻¹), Embrapa 21 (167,89 µg kg⁻¹) e Mentana (85,44 µg kg⁻¹). As concentrações de macronutrientes não demonstraram grande variabilidade entre os cultivares. Para os micronutrientes as variações foram: Fe (20,59 - 55,76 mg kg⁻¹); Mn (19,06 - 54,00 mg kg⁻¹); Zn (17,30 - 46,79 mg kg⁻¹); Cu (3,43 - 11,80 mg kg⁻¹) e B (1,74 - 4,80 mg kg⁻¹). Os resultados foram promissores na caracterização dos cultivares com potenciais para continuidade dos estudos de biofortificação com Se e micronutrientes, para melhoria da qualidade nutricional de minerais em grãos de trigo.

Palavras-chave: Variabilidade genética, micronutrientes, biofortificação genética.

CHAPTER II – GENOTYPIC VARIATION IN THE CONCENTRATION AND NATURAL ACCUMULATION OF SELENIUM IN WHEAT GRAINS

ABSTRACT

Knowledge about the genetic variability for accumulation of Fe and Zn in wheat is widely consolidated. However, with respect to Se there is little consensus about the possible influence of genotype on the accumulation of this element in the grains. While some studies have found no significant genetic variability between wheat cultivars regarding concentration and accumulation of Se in the grains, others have confirmed the existence of contrasting concentrations. To shed more light on this topic, 183 wheat genotypes were selected from the germplasm bank of the Embrapa Wheat research unit (Embrapa Trigo) and belonging to participants in the Embrapa-HarvestPlus Biofortification Program, according to criteria based on agronomic performance traits, technological qualities and potential for biofortification with micronutrients (high levels of Fe and Zn). The experiment was arranged in two blocks with 372 random plots. At the end of the maturation stage, the plants were harvested and the grains were submitted to analysis of yield and nutritional quality, involving concentrations of Se, macro and micronutrients in the grains. Only 46 cultivars developed adequately for evaluation. The grain yield ranged from 975 to 3274 kg ha⁻¹, with the standouts being the cultivars Abalone, Embrapa 21, Londrina and Mentana, which produced respective yields of 2,117, 2,666, 2,495 and 2,254 kg ha⁻¹. The yields contrasted due to evolution of the cultivars by genetic improvement, with the cultivars developed most recently having the best performance. There was wide variability in the concentration of Se in the grains, with values from <8.13 to 189.05 µg kg⁻¹ and average of 43.71 µg kg⁻¹. The highest Se concentrations were observed in the cultivars Londrina (189.05 µg kg⁻¹), Embrapa 21 (167.89 µg kg⁻¹) and Mentana (85.44 µg kg⁻¹). The concentrations of macronutrients did not vary greatly among the cultivars. For micronutrients, the variations were: Fe (20.59 – 55.76 mg kg⁻¹); Mn (19.06 – 54.00 mg kg⁻¹); Zn (17.30 – 46.79 mg kg⁻¹); Cu (3.43 – 11.80 mg kg⁻¹) and B (1.74 – 4.80 mg kg⁻¹). The results were promising regarding identification of cultivars with potential for continuing research into biofortification with Se and micronutrients, to improve the mineral nutritional quality of wheat.

Keywords: Genetic variability, micronutrients, genetic biofortification.

1 INTRODUÇÃO

Têm sido comum relatos de variação genética quanto à acumulação dos micronutrientes Fe e Zn em grãos de trigo entre cultivares de menores e maiores concentrações nos grãos (Gerloff & Gabelman, 1983; Graham & Welch, 1996; Lyons et al., 2004; Graham et al., 2001; White & Broadley, 2009). Foram encontradas variações na ordem de 2,5 vezes para cultivares de alta concentração de Fe em relação aos considerados mais pobres e maiores concentrações de Zn foram associadas a cultivares de alta concentração de Fe (Graham et al., 2001). Em estudo de campo na Austrália, Lyons et al. (2004) encontraram variações de quatro a cinco vezes entre cultivares de menor e maior concentração de Fe e Zn nos grãos, sendo as maiores concentrações encontradas nas populações de cultivares mais antigas em relação as modernas. Segundo Peleg et al. (2008) ancestrais e/ou parentes de espécies selvagens de trigo, que particularmente apresenta diversificada cadeia de características genéticas ligadas a eficiência na concentração de Fe e Zn, demonstraram potencial de concentração elevado para Fe e Zn, na ordem de 85 e 125 mg kg⁻¹, respectivamente. Genes codificados de linhagens selvagens têm sido introduzidos em cultivares de trigo modernos, resultando em aumento de forma eficiente nas concentrações de Fe e Zn (Uauy et al., 2006; Distelfeld et al., 2007; Waters et al., 2009).

Diferenças entre espécies em acumular Se são amplamente reconhecidas (Ramos et al., 2010; Yan et al., 2011). Uma série de estudos tem mostrado grande variabilidade genética significativa entre as espécies cultivadas em concentrar Se nas partes comestíveis como tomate (Pezzarossa et al., 1999), soja (Yang et al., 2003; Zhang et al., 2003), brassicas (Combs, 2001) e diversas outras culturas (Moraes et al., 2011).

No entanto, em relação ao trigo ainda existe pouca evidência quanto a possível influência genotípica na acumulação de Se nos grãos (Bona et al., 2009). De maneira que alguns estudos descrevem não haver variabilidade genética significativa entre cultivares de trigo para concentração e acumulação de Se nos grãos (Noble & Barry, 1982; Grela, 1996; Tveitnes et al., 1996), enquanto outros confirmam concentrações contrastantes de Se em trigos, sugerindo que cultivares de trigo podem variar na sua capacidade em acumular Se em razão dos genes envolvidos (Piergiovanni et al., 1997; Seregina et al., 2001).

Segundo Lyons et al. (2005), nenhuma variação genotípica tem sido atribuída a concentrações de Se em grãos de trigo, que ao realizar estudo a campo nos países do México e Austrália com ampla população de cultivares, das quais incluíam comerciais e acessos ancestrais, verificaram variações na concentração de Se em grãos da ordem de 30 a 200 µg kg⁻¹.

¹ e 70 a 280 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectivamente. Todavia, concluíram não haver variabilidade genética que justificasse as concentrações de Se encontradas no referido estudo e atribuíram esse fato exclusivamente a disponibilidade de Se no solo, o qual é influenciado por diversos atributos como pH, potencial redox, capacidade de troca catiônica, níveis de carbono orgânico, teores de enxofre (S), ferro (Fe) e alumínio (Al) (Cary & Allaway, 1969; Cary & Gissel-Nielsen, 1973; Goodson et al., 2003; Moraes, 2008).

A baixa ou nula regulação genética do Se pode ser explicada pelo fato que esse elemento ainda não foi comprovado ser essencial para as plantas, embora existam algumas funções metabólicas estimuladas por Se (Welch, 1995, Moraes et al., 2011). Desta forma, há necessidade de melhor entender os mecanismos relacionados a variação genotípica e fatores que integram a eficiência em promover maiores concentrações de micronutrientes (incluindo Se) nas partes comestíveis, podendo assim auxiliar em futuros programas de melhoramento genético vegetal visando o desenvolvimento de alimentos mais nutritivos.

Os objetivos do presente estudo foram: 1) identificar cultivares de trigo com características de alto e baixo acúmulo de Se nos grãos; 2) Avaliar a interação do Se com macros e micronutrientes nos grãos, relacionando com a produtividade e características agronômicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi desenvolvido a campo, na estação experimental da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC), localizada em Palotina, município situado na região Oeste-paranaense, Sul do Brasil, durante o período da safra de inverno do ano agrícola de 2012. O solo da área demonstrou característica de textura bastante argilosa, sendo classificado segundo EMBRAPA (2006), como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, sem presença de alumínio disponível na camada 0-20 cm de profundidade.

2.2 Caracterizações física e química do solo

As análises física e química do solo, segundo a metodologia da EMBRAPA (2011), revelaram os seguintes resultados: 130 g kg⁻¹ de areias; 150 g kg⁻¹ de silte; 720 g kg⁻¹ de argila; pH (CaCl₂ - relação solo:solução de 1:2,5) - 5,00; Carbono (dicromato/espectrofotometria colorimétrica UV) - 22,66 g dm⁻³; Ca (KCl 1 M/espectrofotometria de absorção atômica - AAS) - 5,41 cmol_c dm⁻³; Mg (KCl 1 M/AAS) - 2,04 cmol_c dm⁻³; K (Mehlich-1/fotometria de emissão por chama) - 0,76 cmol_c dm⁻³; Al (KCl 1 M/titulometria) - 0,00 cmol_c dm⁻³; H⁺ Al (estimado pelo pH SMP) - 5,35 cmol_c dm⁻³; soma de bases (SB) - 8,21 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica (CTC) - 13,56 cmol_c dm⁻³; P (Mehlich-1/ espectrofotometria colorimétrica UV) - 22,20 mg dm⁻³; S-SO₄ (fosfato + ácido acético/turbidimetria) - 8,47 mg dm⁻³; saturação por bases (V%) - 60; saturação por Al (m%) - 0,00; Cu (Mehlich-1/ AAS) - 11 mg dm⁻³; Mn (Mehlich-1/ AAS) - 140 mg dm⁻³; Fe (Mehlich-1/ AAS) - 19 mg dm⁻³; Zn (Mehlich-1/ AAS) - 4,5 mg dm⁻³; B (Mehlich-1/ AAS) - 0,56 mg dm⁻³. Segundo a MINEROPAR (2001), a distribuição do Se total para região oeste do estado do Paraná, qual está situada o município de Palotina, apresenta os menores valores de concentração de Se, variando de 0 – 0,273 mg kg⁻¹. Essa menor concentração de Se nesses solos da região pode ser justificada pela sua formação geológica qual tem origem de rochas magmáticas que apresentam concentrações que raramente excedem 0,05 mg kg⁻¹ (MINEROPAR, 2001).

2.3 Critérios para seleção de genótipos de trigo

Foram selecionados 183 genótipos de trigo provenientes do banco de germoplasma da Embrapa Trigo e participantes do programa Embrapa-HervestPlus de biofortificação, mediante critérios com base em características de desempenho agrônomo, qualidades tecnológicas e de potencial para biofortificação em micronutrientes (altos teores de Fe e Zn) nos grãos (Scheeren et al., 2009).

2.4 Delineamento e caracterização experimental

Os 183 genótipos previamente selecionados foram dispostos em dois blocos com as parcelas de cada bloco sorteadas ao acaso, totalizando 366 parcelas. O menor número de parcelas se deve à pequena quantidade de sementes, em razão de serem provenientes de bancos de germoplasma. Cada parcela foi constituída por 6 linhas de 4 m, sendo feito desbaste de 0,5 m em todos os lados da parcela, restando uma área útil de 6 linhas de 3 m com espaçamento de plantio de 17 cm entre linhas.

2.5 Instalação e desenvolvimento experimental

O experimento foi instalado com auxílio de uma semeadora de parcelas experimentais, empregando-se a densidade de 60 a 80 sementes por metro linear. De acordo com os resultados da análise química do solo, não houve necessidade de correção do mesmo e a adubação de base foi aplicada junto ao plantio, seguindo as recomendações para a cultura do trigo no estado do Paraná, Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale - CBPTT (2013). A adubação de cobertura foi realizada durante o estágio de afilamento, também seguindo as recomendações oficiais. As práticas de tratos culturais e manejo fitossanitário (desbastes, controle de plantas invasoras, pragas e doenças) foram realizados periodicamente. Ao final do estágio de maturação, as parcelas foram colhidas com colhedoras de parcelas experimentais.

2.6 Avaliações de desempenho agrônomo

Durante o desenvolvimento da cultura, avaliações de desempenho agrônomo foram realizadas como densidade de plantio (stand), número de afilhos, altura de plantas e acamamento. No estágio de maturação foi avaliado o rendimento de grãos por parcelas e estimada a produtividade em quilos por hectare.

2.7 Determinações das concentrações de Se, macronutrientes e micronutrientes em grãos

Após as plantas completarem a senescência, as espigas foram cortadas e colocadas em sacos de papel (tipo de pão), que em seguida, foram mantidas em estufa a 65°C por 72 horas. Posterior à secagem, as espigas foram debulhadas manualmente, separando grãos de palhicho e, em seguida os grãos foram pesados e moídos.

Para abertura das amostras, em duplicata, aproximadamente 0,5 g de material vegetal foram colocados em meio a 10 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3 - 65 % v/v) em tubos de teflon. Após serem mantidos em pré-digestão por três horas, foram hermeticamente fechados e submetidos à digestão empregando-se forno com radiação micro-ondas (1500 W de potência), em temperatura média de 200°C, segundo o método SW 846 - 3051A descrito pela United States Environmental Protection Agency - USEPA (2007). Para evitar possíveis perdas de compostos voláteis, como Se, esperou-se que os tubos atingissem a temperatura ambiente, para em seguida, proceder a filtração do extrato em papel filtro analítico (filtração rápida). O volume final foi completado para 20 mL com água deionizada. Cada bateria de análise continha duas amostras de concentrações conhecidas, como padrão de referência do valor do elemento-traço de interesse (White Clover - BCR 420 com 6,7 mg kg⁻¹ de Se), certificado pelo Institute for Reference Materials and Measurements - IRMM (2007) e uma amostra em branco para fins de controle de qualidade e cálculo do limite de detecção (LD). A recuperação do Se para o padrão BCR 420 foi de 76,8 % (média das recuperações em cada bateria).

A determinação da concentração de Se foi realizada empregando-se um espectrofotômetro de absorção atômica com atomização por forno de grafite acoplado (GF – AAS). A determinação das concentrações dos macros (P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) foram realizadas por espectrometria de emissão óptica, com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). Para as determinações do nitrogênio total, pesou-se entre 15 e 20 mg de amostra em duplicata, que foram incineradas via combustão seca em analisador elementar vario EL III.

2.8 Análises estatísticas

Para análise estatística, procedeu-se comparação de médias para produtividade, componentes de desempenho agronômico, concentração e acúmulo dos elementos entre os cultivares em grãos, correlações entre os elementos e produtividade considerando todas as cultivares.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características dos cultivares

Do total de 183 cultivares inicialmente selecionados para o presente estudo, apenas 46 compõem os resultados aqui apresentados, tal fato é em decorrência da primeira fase do estudo em que não foi possível o desenvolvimento pleno dos demais cultivares quais não produziram grãos.

Na Tabela 1, com base em informações de literatura (Rossi & Neves, 2004; Brasília, 2010; EMBRAPA, 2011a; EMBRAPA, 2011b), estão relacionados os 46 cultivares e suas informações de características tecnológicas de grãos, época de desenvolvimento e ciclo cultural. Tais quais: i) Ano de lançamento (registro) dos cultivares: cultivares lançados até o ano de 1985 foram agrupados como cultivares tradicionais e cultivares lançados após esse período, foram consideradas como modernas; ii) Ciclo fenológico: precoce, com maturação plena em até 99 dias; médio, de 100 a 123 dias e tardio, 124 a 145 dias; iii) Classe: representa o fator aptidão, ou seja, refere-se ao processamento final dos grãos de trigo. Na classe brando, foram enquadrados os cultivares de trigo aptos para a produção de biscoitos, produtos de confeitaria e massas frescas. Na classe trigo pão, foram relacionados os cultivares com aptidão para a produção do tradicional pãozinho (tipo francês ou d'água). A classe de trigo melhorador envolve os grãos de trigo aptos para mescla com grãos de trigo brando e pão, para fins de panificação, produção de tipos de massas alimentícias, biscoitos e pães industriais.

3.2 Produtividade de grãos e componentes agronômicos

A produtividade de grãos entre os cultivares teve uma variação de 975 a 3274 kg ha⁻¹, com diferença de aproximadamente 2300 kg ha⁻¹ do cultivar menos produtivo para o de mais alto rendimento e, média geral equivalente a 2072 kg ha⁻¹ (Tabela 2). Essa ampla faixa de variação de produtividade pode ser justificada pela diversidade dos cultivares em relação ao seu potencial produtivo, a qual está relacionada com o ano de lançamento dos cultivares. Os cultivares de menores rendimentos, foram em maioria os cultivares mais antigos (tradicionais) e os de maior produtividade, os cultivares atuais (modernos) (Scheeren et al., 2009).

Tabela 1. Características de 46 cultivares de trigo utilizados na seleção de genótipos com potencial para biofortificação com Se.

Cultivares	Ano de lançamento	Grupo ⁽¹⁾	Ciclo ⁽²⁾	Classe
01 ABALONE	2006	Moderno	Médio	Pão
02 ALCOVER	2000	Moderno	Médio	Pão
03 ANAHUAC 75	1998	Moderno	-	-
04 BAVIACORA	1993	Moderno	-	-
05 BH 1146	1945	Tradicional	-	-
06 BIOINTA 1001	1986	Moderno	Precoce	-
07 BR 1	1979	Tradicional	-	-
08 BR 8	1983	Tradicional	-	-
09 BR 10 – FORMOSA	1983	Tradicional	Médio	-
10 BR 14	1985	Tradicional	-	-
11 BR 17 – CAIUÁ	1998	Moderno	-	-
12 BR 20 – GUATÓ	1987	Moderno	-	-
13 BR 24	1988	Moderno	-	-
14 BR 38	1990	Moderno	-	-
15 BRS 192	2000	Moderno	-	-
16 BRS 193	2000	Moderno	-	-
17 BRS 194	2000	Moderno	Médio	Pão
18 BRS 210	2002	Moderno	Médio	Melhorador
19 BRS 264	2005	Moderno	Precoce	Pão
20 BRS TANGARÁ	2007	Moderno	Médio	Pão/Melhorador
21 BRS TIMBAÚVA	2003	Moderno	Médio	Pão
22 CD 115	2009	Moderno	Médio	Brando
23 CEP 24 – INDUSTRIAL	1998	Moderno	-	-
24 EMBRAPA 21	1992	Moderno	Precoce	-
25 EMBRAPA 24	1998	Moderno	-	-
26 EMBRAPA 42	1995	Moderno	-	Melhorador
27 IAPAR 28 – IGAPÓ	1988	Moderno	-	-
28 IPR 111	2002	Moderno	-	-
29 IPR 118	2004	Moderno	-	-
30 ITAPUA 40 – OBLIGADO	1992	Moderno	-	-
31 JUP 73	1973	Tradicional	-	-
32 LONDRINA	1972	Tradicional	-	-
33 MENTANA	1952	Tradicional	-	-
34 NAMBU	1979	Tradicional	-	-
35 OCEPAR 7 – BATUIRA	1984	Tradicional	-	-
36 OCEPAR 10 – GARÇA	1984	Tradicional	-	-
37 OCEPAR 12 – MAITACA	1985	Tradicional	-	-
38 OCEPAR 17	1989	Moderno	-	-
39 PELADINHO	1978	Tradicional	-	-
40 RS 01 – FÊNIX	1998	Moderno	-	-
41 RS 08 – WESTPHALEN	1998	Moderno	-	-

Cultivares ^{continuação.}	Ano de lançamento	Grupo ⁽¹⁾	Ciclo ⁽²⁾	Classe
42 RS 15	-	-	-	-
43 SAFIRA	2004	Moderno	Médio	Pão
44 SUPERA	2004	Moderno	Médio	Pão
45 YAQUI 54	1985	Tradicional	-	-
46 IPR 90	2000	Moderno	-	-

⁽¹⁾Tradicional: cultivares lançadas até o ano de 1985; Moderno: cultivares lançadas após o ano de 1985. ⁽²⁾Ciclo: precoce (99 dias da emergência a maturação plena); médio (100 a 123 dias da emergência a maturação plena); tardio (124 a 145 dias da emergência a maturação plena); ⁽⁻⁾Não identificado.

Fica evidente a contribuição do melhoramento genético dos cultivares, proporcionando maiores rendimentos aos cultivares atuais. O grande progresso no melhoramento de plantas foi desencadeado pela Revolução Verde, aliada a fertilização e proteção das culturas, resultando em aumento dos potenciais de rendimento das principais culturas de cereais e sendo considerada uma grande conquista na produção de alimentos em meio ao rápido e crescente aumento da população mundial (Sands et al., 2009; Moraes et al., 2010; Zhão & Shewry, 2011).

Os cultivares ABANOLE, EMBRAPA 21, LONDRINA e MENTANA tiveram rendimento de grãos de 2117, 2666, 2495 e 2254 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 1). Chama-se atenção para esses cultivares por serem de boa produtividade e ao mesmo tempo contrastantes quanto ao seu ano de lançamento. Os cultivares ABALONE e EMBRAPA 21 representa o grupo dos cultivares moderno e LONDRINA e MENTANA, representa o grupo dos cultivares tradicionais. Tal contraste torna-se uma característica importante para estudos de seleção genotípica com adição de Se junto à adubação convencional, como forma de melhorar a concentração desse elemento nos grãos. Cultivar como IPR 111 (moderno) traz com sigo características de alto rendimento de grãos (3274 kg ha⁻¹) e ao mesmo tempo apresentando altas concentrações de Fe e Zn nos grãos, importante associação de características para o uso do cultivar para estudos de seleção de genótipos.

Os resultados de componentes de desenvolvimento como "stand", número de afilhos, altura de plantas e acamamento revelaram-se variáveis (Tabela 2). A densidade de plantas por metro linear (*stand*) variou de 35 a 83 plantas, com média de 58 plantas entre todos os cultivares. O número de afilhos por planta variou de 3 até 7, com média de 4. Para altura de plantas a variação foi de 59 a 110 cm, com média de 88 cm.

Tabela 2. Produtividade, *stand*, afilhos, altura de plantas e acamamento em cultivares de trigo e suas relações.

Cultivares	Produtividade	<i>Stand</i>	Afilhos	Altura de plantas	Acamamento
	kg ha ⁻¹	sem/ml ⁻¹	nº	cm	Índice
01 ABALONE ^(M)	2117	66	5	81	3
02 ALCOVER ^(M)	1754	47	4	89	1
03 ANAHUAC 75 ^(M)	1519	68	4	94	4
04 BAVIACORA ^(M)	2220	48	3	76	2
05 BH 1146 ^(T)	1911	35	7	93	4
06 BIOINTA 1001 ^(M)	1921	53	4	97	2
07 BR 1 ^(T)	2176	57	4	105	4
08 BR 8 ^(T)	1980	40	4	110	2
09 BR 10 – FORMOSA ^(T)	1465	53	5	88	3
10 BR 14 ^(T)	2284	46	4	98	1
11 BR 17 – CAIUA ^(M)	1681	44	5	75	4
12 BR 20 – GUATO ^(M)	2397	58	3	94	1
13 BR 24 ^(M)	1980	52	5	91	1
14 BR 38 ^(M)	2705	44	3	92	2
15 BRS 192 ^(M)	2607	66	5	73	1
16 BRS 193 ^(M)	1495	67	6	78	5
17 BRS 194 ^(M)	2936	78	5	89	2
18 BRS 210 ^(M)	2980	66	3	72	1
19 BRS 264 ^(M)	1882	53	4	75	1
20 BRS – TANGARÁ ^(M)	1725	55	5	84	2
21 BRS – TIMBAÚVA ^(M)	2725	73	5	76	1
22 CD 115 ^(M)	2725	83	3	84	2
23 CEP 24-INDUSTRIAL ^(M)	2205	42	7	97	3
24 EMBRAPA 21 ^(M)	2666	71	4	87	1
25 EMBRAPA 24 ^(M)	2553	64	4	90	1
26 EMBRAPA 42 ^(M)	1607	55	3	85	2
27 IAPAR 28 - IGAPÓ ^(M)	1887	79	5	78	3
28 IPR 111 ^(M)	3274	37	7	106	1
29 IPR 118 ^(M)	2598	53	5	83	1
30 ITAPUA40-OBLIGADO ^(M)	1514	58	5	81	2
31 JUP 73 ^(T)	975	74	5	91	3
32 LONDRINA ^(T)	2495	66	5	86	2
33 MENTANA ^(T)	2254	62	5	82	3
34 NAMBU ^(T)	1705	61	4	85	2
35 OCEPAR 7 – BATUIRA ^(T)	2004	73	4	89	1
36 OCEPAR 10 – GARÇA ^(T)	1549	65	4	89	3

Cultivares <small>continuação.</small>	Produtividade	<i>Stand</i>	Afilhos	Altura de plantas	Acamamento
	kg ha ⁻¹	sem/m l ⁻¹	nº	cm	índice
37 OCEPAR 12 – MAITACA ^(T)	1965	46	5	93	2
38 OCEPAR 17 ^(M)	1769	54	3	95	1
39 PELADINHO ^(T)	1078	79	5	91	5
40 RS 1 – FÊNIX ^(M)	2034	45	4	108	2
41 RS 8 – WESTPHALEN ^(M)	1730	49	5	103	3
42 RS 15 ⁽⁻⁾	2965	55	4	90	1
43 SAFIRA ^(M)	2039	50	7	79	2
44 SUPERA ^(M)	1960	63	4	87	2
45 YAQUI 54 ^(T)	1637	54	4	91	3
46 IPR 90 ^(M)	1651	41	3	59	1
<i>Média geral</i>	<i>2072</i>	<i>58</i>	<i>4</i>	<i>88</i>	<i>2</i>

(M): Moderno; (T): Tradicional; (-): ano de lançamento não identificado.

E o índice de acamamento variou de 1 a 5, com média índice de 2. No geral, havendo considerável contraste evolutivo entre os cultivares em relação a essas variáveis. O que torna bastante relevante aos programas de melhoramento voltados para biofortificação de alimentos. A exemplo do número de afilhos, que quanto maior, indica uma característica fisiológica positiva para relação fonte/dreno, podendo favorecer a partição de fotoassimilados e translocação de nutrientes para as partes comestíveis (Tanksley & McCouch, 1997; Gur & Zamir, 2004).

3.3 Concentração e acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em grãos

As concentrações de N, P, K, Ca e Mg, tiveram as seguintes amplitudes de variação: 19,6 a 27 g kg⁻¹ de N; 1,5 a 5 g kg⁻¹ de P; 1,3 a 4,2 g kg⁻¹ de K; 0,3 a 3,7 g kg⁻¹ de Ca e 1 a 1,3 g kg⁻¹ Mg. Com valores médios de 23,3 g kg⁻¹ para N; 3,1 g kg⁻¹ para P; 2,9 g kg⁻¹ para K; 0,7 g kg⁻¹ para Ca e 1,1 g kg⁻¹ para Mg. Em relação ao acúmulo de N, P, K, Ca e Mg, ocorreram as seguintes variações: 21,2 a 74,7 kg ha⁻¹ de N; 1,7 a 9,4 kg ha⁻¹ de P; 1,4 a 8,2 kg ha⁻¹ de K; 0,8 a 1,6 kg ha⁻¹ de Ca e 1,1 a 3,4 kg ha⁻¹ de Mg. Com valores médios de 48,1 kg ha⁻¹ para N; 6,5 kg ha⁻¹ para P; 6,0 kg ha⁻¹ para K; 1,5 kg ha⁻¹ para Ca e 2,3 kg ha⁻¹ de Mg. A relação completa dos valores de concentração e acúmulo de macronutrientes em grãos de trigo encontram-se descritos nas Tabelas 3 e 4.

Tem-se observado variações nas concentrações de minerais em grãos de trigo em relação a cultivares modernos e tradicionais, conforme observado por Piergiovanni et al. (1997), que relatam maiores concentrações de minerais essenciais em variedades comerciais modernos, ao passo que Balint et al. (2001) encontram maiores concentrações de minerais em ancestrais selvagens de trigo. Possivelmente na condição do presente estudo, o qual condicionou adequado fornecimento de adubação para todos cultivares, seja o motivo de não haver variações nas concentrações dos macronutrientes de forma tão discrepantes.

3.4 Concentração e acúmulo de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) em grãos

As concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu e B, tiveram as seguintes amplitudes de variação: 20,6 a 55,8 mg kg⁻¹ de Fe; 17,3 a 46,8 mg kg⁻¹ de Zn; 19,1 a 54,0 mg kg⁻¹ de Mn; 3,4 a 11,8 mg kg⁻¹ de Cu e 1,7 a 4,8 mg kg⁻¹ B. Com valores médios de 36,1 mg kg⁻¹ para Fe; 33,8 mg kg⁻¹ para Zn; 39,0 mg kg⁻¹ para Mn; 6,4 mg kg⁻¹ para Cu e 2,4 mg kg⁻¹ para B. Em relação ao acúmulo de Fe, Zn, Mn, Cu e B, ocorreram as seguintes variações: 20,3 a 117,7 g ha⁻¹ de Fe; 19,7 a 104,1 g ha⁻¹ de Zn; 20,9 a 135,6 g ha⁻¹ de Mn; 3,4 a 18,4 g ha⁻¹ de Cu e 2,0 a 6,7 g ha⁻¹ de B. Com valores médios de 75,4 g ha⁻¹ para Fe; 70,4 g ha⁻¹ para Zn; 81,3 g ha⁻¹ para Mn; 13,4 g ha⁻¹ para Cu e 5,1 g ha⁻¹ para B. A relação completa dos valores de concentração e acúmulo de macronutrientes em grãos de trigo encontram-se descritos nas Tabelas 5 e 6.

Resultados semelhantes quanto a variabilidade na concentração de Fe e Zn foram observados por Scheeren et al. (2011), que identificaram concentrações de Fe equivalentes a 32,6 mg kg⁻¹, com amplitude de 21,9-55,7 mg kg⁻¹ e para Zn valor de 31,8 mg kg⁻¹, com amplitude de 21,0-55,1 mg kg⁻¹. Essa variabilidade pode ser observada em três ambientes distintos, quais comprovaram a característica varietal dos cultivares avaliados e que demonstraram ser mais eficientes na concentração de ambos minerais em cultivares que ainda tinham preservado uma ampla carga genética para aquisição desses micronutrientes, sendo considerado os cultivares antigos.

Tabela 3. Produtividade e concentrações de N, P, K, Ca, Mg e Se em grãos de cultivares de trigo e suas relações.

Cultivares	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	Se
	kg ha ⁻¹			g kg ⁻¹			µg kg ⁻¹
01 ABALONE ^(M)	2117	22,4	2,7	2,7	0,4	1,0	109,6
02 ALCOVER ^(M)	1754	22,6	2,8	2,9	0,8	1,0	15,5
03 ANAHUAC 75 ^(M)	1519	23,1	3,0	2,7	0,8	1,1	21,9
04 BAVIACORA ^(M)	2220	21,3	2,8	3,1	0,6	1,0	28,1
05 BH 1146 ^(T)	1911	25,9	3,0	2,7	0,7	1,1	23,4
06 BIOINTA 1001 ^(M)	1921	23,1	5,0	4,2	1,1	1,3	37,3
07 BR 1 ^(T)	2176	24,2	3,5	2,7	0,6	1,1	68,0
08 BR 8 ^(T)	1980	27,0	3,5	3,0	0,7	1,2	11,4
09 BR 10 – FORMOSA ^(T)	1465	24,2	3,7	3,6	3,7	1,2	31,1
10 BR 14 ^(T)	2284	23,8	3,3	3,2	0,7	1,1	9,8
11 BR 17 – CAIUA ^(M)	1681	23,1	3,3	3,5	0,7	1,1	48,3
12 BR 20 – GUATO ^(M)	2397	22,5	1,5	1,3	0,4	1,2	25,5
13 BR 24 ^(M)	1980	25,0	3,6	3,1	0,6	1,2	38,1
14 BR 38 ^(M)	2705	23,4	3,7	3,3	0,7	1,2	24,5
15 BRS 192 ^(M)	2607	23,5	3,2	2,8	0,8	1,1	9,7
16 BRS 193 ^(M)	1495	21,1	3,0	2,7	0,6	1,1	43,9
17 BRS 194 ^(M)	2936	25,5	3,2	2,8	0,5	1,2	26,0
18 BRS 210 ^(M)	2980	23,2	3,2	3,0	0,6	1,1	5,4
19 BRS 264 ^(M)	1882	22,2	3,1	2,6	0,6	1,1	28,3
20 BRS – TANGARÁ ^(M)	1725	22,5	3,1	3,0	0,7	1,1	30,3
21 BRS – TIMBAÚVA ^(M)	2725	21,7	3,0	2,9	0,6	1,1	46,8
22 CD 115 ^(M)	2725	23,4	3,3	3,2	1,1	1,1	40,1
23 CEP 24-INDUSTRIAL ^(M)	2205	25,5	1,8	1,6	0,3	1,2	31,0
24 EMBRAPA 21 ^(M)	2666	23,6	3,4	3,1	0,8	1,1	167,9
25 EMBRAPA 24 ^(M)	2553	23,7	3,7	2,9	0,6	1,2	62,1
26 EMBRAPA 42 ^(M)	1607	23,3	3,3	2,7	0,6	1,1	109,1
27 IAPAR 28 - IGAPÓ ^(M)	1887	23,6	3,2	3,1	0,8	1,1	17,0
28 IPR 111 ^(M)	3274	19,6	3,2	3,4	0,7	1,1	26,1
29 IPR 118 ^(M)	2598	24,8	3,3	2,7	0,7	1,2	23,4
30 ITAPUA40-OBLIGADO ^(M)	1514	22,4	3,1	3,1	0,8	1,1	73,6
31 JUP 73 ^(T)	975	21,7	1,7	1,5	0,8	1,1	65,6
32 LONDRINA ^(T)	2495	23,2	3,4	3,1	0,6	1,2	189,1
33 MENTANA ^(T)	2254	22,3	3,2	2,9	0,6	1,1	85,4
34 NAMBU ^(T)	1705	25,2	3,5	3,0	0,9	1,1	35,8
35 OCEPAR 7 – BATUIRA ^(T)	2004	23,0	3,1	3,2	0,7	1,1	91,4
36 OCEPAR 10 – GARÇA ^(T)	1549	25,8	3,4	3,1	1,0	1,2	34,5
37 OCEPAR 12 – MAITACA ^(T)	1965	24,2	3,2	2,6	0,6	1,2	15,3
38 OCEPAR 17 ^(M)	1769	23,4	3,1	3,3	0,6	1,1	48,1
39 PELADINHO ^(T)	1078	26,7	1,7	1,5	0,5	1,1	14,4
40 RS 1 – FÊNIX ^(M)	2034	22,5	3,1	2,8	0,6	1,1	22,4
41 RS 8 – WESTPHALEN ^(M)	1730	21,7	3,1	2,9	0,7	1,1	22,8

Cultivares <small>continuação.</small>	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	Se
	kg ha ⁻¹			g kg ⁻¹			µg kg ⁻¹
42 RS 15 ⁽⁻⁾	2965	21,8	2,9	2,7	0,5	1,1	29,6
43 SAFIRA ^(M)	2039	20,9	3,1	3,2	0,6	1,1	21,0
44 SUPERA ^(M)	1960	20,3	2,8	2,7	0,4	1,1	13,7
45 YAQUI 54 ^(T)	1637	22,9	3,0	2,7	0,6	1,0	50,8
46 IPR 90 ^(M)	1651	24,4	3,9	3,8	0,6	1,1	37,9
<i>Média geral</i>	2072	23,3	3,1	2,9	0,7	1,1	43,7

Correlações							
	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	Se
Produtividade	-						
Teor N	-0,16 ^{ns}	-					
Teor P	0,17 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-				
Teor K	0,17 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,89 ^{ns}	-			
Teor Ca	-0,19 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,31 ^{**}	0,36 ^{**}	-		
Teor Mg	0,14 ^{ns}	0,33 ^{**}	0,41 ^{***}	0,19 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-	
Teor Se	0,04 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-

***, **, *, ^{ns}, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Observa-se ainda que, a maior amplitude de variação ocorreu para o Fe (35,2 mg kg⁻¹), seguido de Mn (34,9 mg kg⁻¹), Zn (27,5 mg kg⁻¹), Cu (8,4 mg kg⁻¹) e B (3,1 mg kg⁻¹). Resultados semelhantes foram descritos por Garvin et al. (2006), que identificaram significativa variação nas concentrações de Fe, Zn, Cu em grãos de 14 genótipos de trigo, com contrastantes períodos de lançamento, nos quais as comparações varietais sugeriram maiores concentrações de micronutrientes em sementes em variedades antigas, como exemplificado pela variedade introdutória Turquia (ano: 1873), com concentrações de Fe e Zn maiores do que as encontradas em todas as outras variedades. Houve diferença de nove e cinco vezes em relação às variedades modernas e antigas, mostrando clara tendência para menor concentração em variedades recentes. As concentrações de Cu também foram menores em relação às concentrações de Fe e Zn.

No presente estudo, as variedades incluídas são cultivares que foram ou são importantes no cenário tritícola brasileiro na região sul, que ao longo dos anos tem representado a produção nacional desse cereal, resultado dos esforços no avanço do melhoramento genético de plantas, proporcionando melhores eficiências produtivas e de desempenhos agrônômicos. Segundo Garvin et al. (2006) e Welch (1995), essa seleção geneticamente mais homogênea tem levado não somente a diminuição da variabilidade genética, mas também impacto direto na interação

genótipo-ambiente, evidenciado pela baixa eficiência dos cultivares em captar nutrientes. É importante enfatizar que a variação genotípica na acumulação de nutrientes, por ser uma característica fortemente dependente do ambiente, poderá apresentar faixas de acumulação/concentração bastante diferentes dependendo da disponibilidade de nutrientes no solo cultivado. Segundo Garvin et al. (2006), as diferenças na concentração de micronutrientes entre cultivares em ambientes distintos, depende da disponibilidade de nutrientes em cada ambiente, observando maior amplitude em áreas que proporcionaram maiores rendimento de grãos.

Em termos relativos à acumulação de nutrientes em grãos de cultivares moderno tem aumentado, todavia, o principal responsável pelo aumento é o maior ganho em biomassa de grãos por hectare (maior produtividade). Mesmo com menor concentração de nutrientes nos cultivares moderno, a maior produtividade resulta em alta acumulação. Por outro lado, quando se pensa em nutrição humana, a concentração de nutrientes é o fator mais importante, pois o consumo *per capita* é um valor relativo e, para compensar a perda na concentração, para uma adequada nutrição seria necessário aumentar o consumo, algo temerário, pois estaria ingerindo excesso de carboidratos. Segundo Donmez et al. (2001), em termos de massa seca total da parte aérea, considerando folhas e ramos, pouca variação tem sido observada entre cultivares, mas quando particionado em grãos, essa variabilidade é aumentada significativamente. Embora tenha havido significativos ganhos em biomassa, os melhoristas não tem analisado os grãos para manter ou aumentar a concentrações dos mesmos.

Entre os micronutrientes Fe e Z não foi possível observar relações significativas, porém, o B apresentou correlação positiva e significativa com todos os micronutrientes. Têm sido relatadas, em especial para Fe e Zn, relações sinérgicas entres esses nutrientes (Garvin et al., 2006; Carver et al., 2001).

Tabela 4. Produtividade e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e Se em grãos de cultivares de trigo e suas relações.

Cultivares	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	Se
	kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹			mg ha ⁻¹
01 ABALONE ^(M)	2117	47,4	5,7	5,7	0,9	2,1	232,2
02 ALCOVER ^(M)	1754	39,7	5,0	5,1	1,5	1,8	27,2
03 ANAHUAC 75 ^(M)	1519	35,2	4,6	4,1	1,2	1,6	33,3
04 BAVIACORA ^(M)	2220	47,3	6,2	6,8	1,3	2,2	62,4
05 BH 1146 ^(T)	1911	49,5	5,8	5,1	1,3	2,1	44,7
06 BIOINTA 1001 ^(M)	1921	44,4	9,7	8,1	2,1	2,5	71,6
07 BR 1 ^(T)	2176	52,7	7,6	5,9	1,3	2,5	148,0
08 BR 8 ^(T)	1980	53,5	7,0	5,9	1,3	2,3	22,6
09 BR 10 – FORMOSA ^(T)	1465	35,5	5,4	5,3	5,5	1,7	45,5
10 BR 14 ^(T)	2284	54,3	7,5	7,2	1,5	2,5	22,4
11 BR 17 – CAIUA ^(M)	1681	38,9	5,6	5,8	1,2	1,9	81,2
12 BR 20 – GUATO ^(M)	2397	54,0	3,7	3,1	1,0	2,8	61,1
13 BR 24 ^(M)	1980	49,4	7,1	6,0	1,2	2,4	75,4
14 BR 38 ^(M)	2705	63,3	10,0	8,9	1,9	3,3	66,2
15 BRS 192 ^(M)	2607	61,4	8,3	7,3	2,1	2,9	25,2
16 BRS 193 ^(M)	1495	31,5	4,5	4,0	0,9	1,7	65,7
17 BRS 194 ^(M)	2936	74,7	9,4	8,2	1,6	3,4	76,4
18 BRS 210 ^(M)	2980	69,1	9,4	9,1	1,9	3,2	16,0
19 BRS 264 ^(M)	1882	41,7	5,9	4,9	1,1	2,0	53,2
20 BRS – TANGARÁ ^(M)	1725	38,8	5,4	5,1	1,2	2,0	52,2
21 BRS – TIMBAÚVA ^(M)	2725	59,2	8,2	7,9	1,7	2,9	127,5
22 CD 115 ^(M)	2725	63,7	8,9	8,7	2,9	3,1	109,2
23 CEP 24-INDUSTRIAL ^(M)	2205	56,3	3,9	3,6	0,7	2,6	68,4
24 EMBRAPA 21 ^(M)	2666	63,0	9,2	8,4	2,1	3,1	447,7
25 EMBRAPA 24 ^(M)	2553	60,6	9,3	7,3	1,5	3,0	158,5
26 EMBRAPA 42 ^(M)	1607	37,5	5,2	4,3	1,0	1,8	175,4
27 IAPAR 28 - IGAPÓ ^(M)	1887	44,5	6,0	5,9	1,4	2,1	32,0
28 IPR 111 ^(M)	3274	64,2	10,4	11,3	2,3	3,7	85,4
29 IPR 118 ^(M)	2598	64,3	8,5	7,1	1,7	3,1	60,9
30 ITAPUA40-OBLIGADO ^(M)	1514	34,0	4,7	4,7	1,1	1,7	111,5
31 JUP 73 ^(T)	975	21,2	1,7	1,4	0,8	1,1	64,0
32 LONDRINA ^(T)	2495	57,8	8,4	7,6	1,6	2,9	471,7
33 MENTANA ^(T)	2254	50,4	7,1	6,6	1,3	2,5	192,7
34 NAMBU ^(T)	1705	43,0	5,9	5,1	1,5	1,9	61,1
35 OCEPAR 7 – BATUIRA ^(T)	2004	46,2	6,2	6,3	1,4	2,2	183,2
36 OCEPAR 10 – GARÇA ^(T)	1549	40,0	5,2	4,8	1,6	1,8	53,5
37 OCEPAR 12 – MAITACA ^(T)	1965	47,6	6,4	5,1	1,2	2,3	30,1
38 OCEPAR 17 ^(M)	1769	41,5	5,5	5,9	1,1	2,0	85,2
39 PELADINHO ^(T)	1078	28,8	1,8	1,6	0,5	1,2	15,5
40 RS 1 – FÊNIX ^(M)	2034	45,7	6,2	5,7	1,3	2,3	45,6
41 RS 8 – WESTPHALEN ^(M)	1730	37,6	5,3	5,0	1,2	1,9	39,4

Cultivares <small>continuação.</small>	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	Se
	kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹			mg ha ⁻¹
42 RS 15 ⁽⁻⁾	2965	64,5	8,7	7,9	1,6	3,3	87,7
43 SAFIRA ^(M)	2039	42,7	6,3	6,5	1,2	2,2	42,8
44 SUPERA ^(M)	1960	39,7	5,6	5,3	0,8	2,1	26,9
45 YAQUI 54 ^(T)	1637	37,5	5,0	4,3	1,0	1,7	83,1
46 IPR 90 ^(M)	1651	40,3	6,5	6,3	1,0	1,9	62,5
<i>Média geral</i>	<i>2072</i>	<i>48,1</i>	<i>6,5</i>	<i>6,0</i>	<i>1,5</i>	<i>2,3</i>	<i>91,4</i>
Correlações							
	Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	Se
Produtividade	-						
Teor N	0,96 ^{ns}	-					
Teor P	0,84 ^{ns}	0,83 ^{ns}	-				
Teor K	0,84 ^{ns}	0,78 ^{***}	0,96 ^{ns}	-			
Teor Ca	0,27 [*]	0,27 ^{**}	0,42 ^{***}	0,45 ^{***}	-		
Teor Mg	0,98 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,30 ^{**}	-	
Teor Se	0,26 [*]	0,25 [*]	0,28 ^{**}	0,26 [*]	0,05 ^{ns}	0,28 [*]	-

***, **, *, ^{ns}, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

O progresso no melhoramento de plantas tem resultado relações inversas entre concentração de minerais e rendimento produtivo, desta forma, deve-se centralizar esforços para aumentar a concentração de micronutrientes nos cultivares modernos. Assim, mesmo que negativa a relação entre produtividade concentração de micronutrientes, parece ser possível desenvolver cultivares de trigo que tenha altos rendimentos e ao mesmo tempo boas concentrações de micronutrientes.

Tabela 5. Produtividade e concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu, B e Se em grãos de cultivares de trigo e suas relações.

Cultivares	Produtividade	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Se
	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹			μg kg ⁻¹		
01 ABALONE ^(M)	2117	39,6	28,6	37,2	5,4	4,8	109,6
02 ALCOVER ^(M)	1754	39,8	36,4	36,2	5,5	2,4	15,5
03 ANAHUAC 75 ^(M)	1519	36,6	35,0	42,7	5,7	1,8	21,9
04 BAVIACORA ^(M)	2220	43,3	28,8	38,0	5,2	2,1	28,1
05 BH 1146 ^(T)	1911	41,7	35,9	34,2	6,6	2,1	23,4
06 BIOINTA 1001 ^(M)	1921	55,8	46,8	54,0	11,8	2,6	37,3
07 BR 1 ^(T)	2176	39,8	37,5	33,1	11,2	2,6	68,0
08 BR 8 ^(T)	1980	40,2	37,2	34,4	9,4	2,7	11,4
09 BR 10 – FORMOSA ^(T)	1465	41,9	44,8	40,6	6,9	2,7	31,1
10 BR 14 ^(T)	2284	36,0	34,3	41,9	6,2	2,6	9,8
11 BR 17 – CAIUA ^(M)	1681	42,4	39,2	38,9	6,1	3,1	48,3
12 BR 20 – GUATO ^(M)	2397	20,6	19,6	21,5	3,5	2,6	25,5
13 BR 24 ^(M)	1980	46,1	36,1	48,5	8,0	2,7	38,1
14 BR 38 ^(M)	2705	43,5	38,5	50,1	6,8	2,5	24,5
15 BRS 192 ^(M)	2607	37,2	36,3	39,5	6,8	2,9	9,7
16 BRS 193 ^(M)	1495	31,7	32,1	36,6	4,5	2,9	43,9
17 BRS 194 ^(M)	2936	39,4	33,5	42,1	5,7	2,9	26,0
18 BRS 210 ^(M)	2980	38,1	39,3	34,4	6,2	2,7	5,4
19 BRS 264 ^(M)	1882	32,5	30,5	38,4	5,6	2,6	28,3
20 BRS – TANGARÁ ^(M)	1725	37,8	35,7	36,0	6,1	2,8	30,3
21 BRS – TIMBAÚVA ^(M)	2725	36,4	29,6	35,3	6,5	2,3	46,8
22 CD 115 ^(M)	2725	41,7	38,1	36,0	6,7	2,6	40,1
23 CEP 24-INDUSTRIAL ^(M)	2205	21,6	17,3	19,1	3,9	2,1	31,0
24 EMBRAPA 21 ^(M)	2666	37,1	35,4	44,8	6,6	2,5	167,9
25 EMBRAPA 24 ^(M)	2553	34,5	38,2	44,9	7,1	2,6	62,1
26 EMBRAPA 42 ^(M)	1607	30,2	29,7	44,3	6,4	2,6	109,1
27 IAPAR 28 - IGAPÓ ^(M)	1887	34,2	37,9	48,1	6,3	2,7	17,0
28 IPR 111 ^(M)	3274	31,8	33,7	44,7	6,7	2,7	26,1
29 IPR 118 ^(M)	2598	36,1	31,2	29,1	6,9	2,4	23,4
30 ITAPUA40-OBLIGADO ^(M)	1514	35,5	35,6	45,8	6,3	2,2	73,6
31 JUP 73 ^(T)	975	20,8	20,2	23,4	3,4	2,1	65,6
32 LONDRINA ^(T)	2495	40,7	38,9	44,8	6,7	2,1	189,1
33 MENTANA ^(T)	2254	38,8	38,2	38,9	6,9	1,9	85,4
34 NAMBU ^(T)	1705	41,5	41,7	43,0	6,9	2,1	35,8
35 OCEPAR 7 – BATUIRA ^(T)	2004	34,7	35,1	42,4	6,1	2,3	91,4
36 OCEPAR 10 – GARÇA ^(T)	1549	37,8	39,6	44,7	7,0	2,1	34,5
37 OCEPAR 12 – MAITACA ^(T)	1965	35,5	36,3	40,8	7,1	1,7	15,3
38 OCEPAR 17 ^(M)	1769	32,2	31,0	36,4	6,0	2,3	48,1
39 PELADINHO ^(T)	1078	22,9	21,1	19,2	3,9	1,8	14,4
40 RS 1 – FÊNIX ^(M)	2034	35,1	29,2	39,1	5,6	2,0	22,4
41 RS 8 – WESTPHALEN ^(M)	1730	34,7	32,9	38,1	6,3	2,0	22,8

Cultivares <i>continuação.</i>	Produtividade	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Se
	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹			µg kg ⁻¹		
42 RS 15 ⁽⁻⁾	2965	33,4	30,4	40,3	6,7	1,9	29,6
43 SAFIRA ^(M)	2039	28,4	31,9	47,8	5,7	2,0	21,0
44 SUPERA ^(M)	1960	31,2	27,1	31,5	6,0	2,0	13,7
45 YAQUI 54 ^(T)	1637	32,4	33,6	47,1	6,3	1,9	50,8
46 IPR 90 ^(M)	1651	37,6	36,3	45,8	7,2	2,0	37,9
<i>Média geral</i>	2072	36,1	33,8	39,0	6,4	2,4	43,7
Correlações							
	Produtividade	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Se
Produtividade	-						
Teor Fe	0,18 ^{ns}	-					
Teor Zn	0,10 ^{ns}	0,82 ^{ns}	-				
Teor Mn	0,12 ^{ns}	0,60 ^{***}	0,72 ^{***}	-			
Teor Cu	0,17 ^{ns}	0,72 ^{***}	0,71 ^{***}	0,51 ^{***}	-		
Teor B	0,20 ^{ns}	0,25 ^{**}	0,12 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-	
Teor Se	0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-

***, **, *, ^{ns}, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 6. Produtividade e acúmulo de Fe, Zn, Mn, Cu, B e Se em grãos de cultivares de trigo e suas relações.

Cultivares	Produtividade	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Se
	kg ha ⁻¹	g ha ⁻¹					mg ha ⁻¹
01 ABALONE ^(M)	2117	83,8	60,6	78,8	11,4	10,2	232,2
02 ALCOVER ^(M)	1754	69,9	63,9	63,5	9,7	4,2	27,2
03 ANAHUAC 75 ^(M)	1519	55,6	53,1	64,9	8,7	2,8	33,3
04 BAVIACORA ^(M)	2220	96,1	63,9	84,5	11,6	4,6	62,4
05 BH 1146 ^(T)	1911	79,6	68,6	65,3	12,5	4,0	44,7
06 BIOINTA 1001 ^(M)	1921	107,2	89,9	103,8	22,7	5,1	71,6
07 BR 1 ^(T)	2176	86,5	81,6	72,1	24,4	5,7	148,0
08 BR 8 ^(T)	1980	79,7	73,7	68,1	18,6	5,3	22,6
09 BR 10 – FORMOSA ^(T)	1465	61,5	65,7	59,6	10,2	3,9	45,5
10 BR 14 ^(T)	2284	82,3	78,4	95,8	14,3	6,0	22,4
11 BR 17 – CAIUA ^(M)	1681	71,4	65,9	65,4	10,3	5,2	81,2
12 BR 20 – GUATO ^(M)	2397	49,4	47,0	51,5	8,3	6,3	61,1
13 BR 24 ^(M)	1980	91,2	71,4	96,0	15,9	5,3	75,4
14 BR 38 ^(M)	2705	117,7	104,1	135,6	18,4	6,7	66,2
15 BRS 192 ^(M)	2607	97,0	94,7	103,0	17,7	7,4	25,2
16 BRS 193 ^(M)	1495	47,4	48,1	54,7	6,8	4,3	65,7
17 BRS 194 ^(M)	2936	115,7	98,4	123,7	16,6	8,4	76,4
18 BRS 210 ^(M)	2980	113,6	117,1	102,5	18,6	8,2	16,0
19 BRS 264 ^(M)	1882	61,1	57,3	72,3	10,5	5,0	53,2
20 BRS – TANGARÁ ^(M)	1725	65,3	61,6	62,1	10,5	4,8	52,2
21 BRS – TIMBAÚVA ^(M)	2725	99,2	80,5	96,1	17,6	6,4	127,5
22 CD 115 ^(M)	2725	113,6	103,7	98,1	18,2	7,0	109,2
23 CEP 24-INDUSTRIAL ^(M)	2205	47,7	38,2	42,1	8,6	4,7	68,4
24 EMBRAPA 21 ^(M)	2666	98,9	94,5	119,5	17,5	6,6	447,7
25 EMBRAPA 24 ^(M)	2553	88,0	97,6	114,7	18,2	6,7	158,5
26 EMBRAPA 42 ^(M)	1607	48,6	47,8	71,2	10,2	4,1	175,4
27 IAPAR 28 - IGAPÓ ^(M)	1887	64,5	71,5	90,7	11,9	5,0	32,0
28 IPR 111 ^(M)	3274	104,1	110,3	146,3	21,9	8,8	85,4
29 IPR 118 ^(M)	2598	93,8	81,0	75,7	18,0	6,1	60,9
30 ITAPUA40-OBLIGADO ^(M)	1514	53,8	53,9	69,3	9,6	3,4	111,5
31 JUP 73 ^(T)	975	20,3	19,7	22,9	3,4	2,0	64,0
32 LONDRINA ^(T)	2495	101,5	97,1	111,9	16,6	5,3	471,7
33 MENTANA ^(T)	2254	87,5	86,2	87,6	15,6	4,3	192,7
34 NAMBU ^(T)	1705	70,7	71,1	73,4	11,7	3,6	61,1
35 OCEPAR 7 – BATUIRA ^(T)	2004	69,6	70,4	85,0	12,3	4,6	183,2
36 OCEPAR 10 – GARÇA ^(T)	1549	58,5	61,4	69,2	10,8	3,3	53,5
37 OCEPAR 12 – MAITACA ^(T)	1965	69,8	71,4	80,3	14,0	3,4	30,1
38 OCEPAR 17 ^(M)	1769	57,0	54,8	64,4	10,6	4,0	85,2
39 PELADINHO ^(T)	1078	24,7	22,7	20,7	4,2	1,9	15,5
40 RS 1 – FÊNIX ^(M)	2034	71,4	59,4	79,5	11,4	4,1	45,6
41 RS 8 – WESTPHALEN ^(M)	1730	60,0	56,9	66,0	10,8	3,4	39,4
42 RS 15 ⁽⁻⁾	2965	99,1	90,2	119,4	20,0	5,5	87,7
43 SAFIRA ^(M)	2039	58,0	65,0	97,4	11,7	4,1	42,8
44 SUPERA ^(M)	1960	61,1	53,0	61,9	11,7	3,8	26,9
45 YAKUI 54 ^(T)	1637	53,1	55,0	77,1	10,4	3,0	83,1

Cultivares <small>continuação.</small>	Produtividade	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Se
	kg ha ⁻¹			g ha ⁻¹			mg ha ⁻¹
46 IPR 90 ^(M)	1651	62,1	60,0	75,6	11,9	3,3	62,5
<i>Média geral</i>	2072	75,4	70,4	81,3	13,4	5,0	91,4
Correlações							
	Produtividade	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Se
Produtividade	-						
Teor Fe	0,84 ^{ns}	-					
Teor Zn	0,83 ^{ns}	0,93 ^{ns}	-				
Teor Mn	0,81 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,89 ^{ns}	-			
Teor Cu	0,77 ^{***}	0,87 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,78 ^{***}	-		
Teor B	0,81 ^{ns}	0,74 ^{***}	0,70 ^{***}	0,66 ^{***}	0,62 ^{***}	-	
Teor Se	0,26 [*]	0,27 [*]	0,28 [*]	0,33 [*]	0,24 [*]	0,26 [*]	-

***, **, *, ^{ns}, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

3.5 Concentração e acúmulo de Se em grãos

Os resultados das concentrações e acúmulo de Se encontram nas Tabelas 3 a 6. Do total de 183 genótipos, apenas 46 teve seus valores de concentração detectados e destes, 45 tiveram as concentrações acima do limite de quantificação (8,1 $\mu\text{g kg}^{-1}$). O cultivar BRS 210 foi o único que não demonstrou valor de Se nos grãos acima do limite de quantificação, apenas de detecção (5,4 $\mu\text{g kg}^{-1}$), mas sendo incluído junto aos demais cultivares na avaliação do estudo.

Entre os cultivares, a concentração de Se variou de <8,1 a 189,1 $\mu\text{g kg}^{-1}$, com valor médio geral de 43,7 $\mu\text{g kg}^{-1}$. A concentração de Se variou consideravelmente entre as cultivares com características de lançamento bastante distintas. A amplitude de variação na concentração de Se no presente estudo foi semelhante ao relatado em diversos estudos de linhagens, variedades e genótipos de trigo (Peterson et al., 1986; Graham et al., 1999; Morgounov et al., 2007). Por exemplo, Lyons et al. (2005) identificaram concentrações de Se que variaram de 9 a 130 $\mu\text{g kg}^{-1}$, em ampla gama de cultivares, dentre eles, cultivares modernos e acessos ancestrais provenientes de bancos de germoplasma. Variações na concentração de Se nos grãos da ordem de 32,9 a 237,9 $\mu\text{g kg}^{-1}$, com média de 98,9 $\mu\text{g kg}^{-1}$, foram também relatadas por Zhão et al. (2009), ao avaliarem 150 cultivares de trigo, dentre elas tradicionais e modernas. Garvin et al. (2006) ao estudarem a variação genotípica de cultivares de trigo em dois ambiente, relataram amplitude de 280 a 480 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de Se, com média de 360 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para uma das localidades e concentrações contrastantes para outra, variando de 39 a 55 $\mu\text{g kg}^{-1}$, com média de 45 $\mu\text{g kg}^{-1}$.

Embora os resultados do presente estudo tenha demonstrado diferenças entre os cultivares na concentração de Se nos grãos, sabe-se que a concentração de Se em plantas é grandemente determinado pela sua presença e disponibilidade no ambiente, sendo influenciado por uma série de fatores, incluindo níveis do solo, espécies químicas, pH, óxidos de Fe e entre outros (Gissel-Nielsen et al., 1984; Garvin et al., 2006; Hawkesford & Zhao, 2007). Os resultados do presente estudo corroboram com Lyons et al. (2005), os quais afirmam que apesar de existirem ampla faixa de variação na concentração de Se em grãos de trigo de diversos cultivares, indicando possível variação genética, essa característica está mais intimamente associada com a variação da disponibilidade de Se no solo.

De acordo com Cary & Allaway (1969), o trigo quando cultivado em solo de característica argilosa, com pH médio de 6,3, apresentou maior variabilidade na concentração de Se nos grãos (até 13 vezes). Duas cultivares de trigo foram identificadas como sendo superiores na concentração de Se nos grãos quando cultivadas em um local, enquanto que quando testadas em outro de baixa fertilidade e de textura arenosa, consistiu em baixa concentração de Se nos grãos. Variações no ambiente, solo, clima e atividades de manejo influenciem direta na disponibilidade do elemento. Os resultados do presente estudo, realizado em solo muito argiloso, corroboram com a literatura e, para esse tipo de solo, os resultados seriam esperados por conter Se nas formas de selenito e selenato, formas essas preferencialmente absorvidas e assimiladas pela planta.

Pesquisas voltadas para o melhoramento de trigo para aumentar a expressão de genes transportadores de S (Pilon-Smits & Quinn, 2010), o qual é a via utilizada pelas plantas para adquirir Se, ou mesmo transferência de genes de espécies acumuladoras, pode não ser viável, uma vez que o Se absorvido e translocado é dependente de sua disponibilidade no solo, o qual é dependente de suas formas solúveis (Cary & Allaway, 1969; Goodson et al., 2003). Outro fator que supostamente explica a baixa variabilidade genética para acumulação de Se é que não existe de fato um papel de essencialidade do Se nas plantas, assim, não esperando que sua acumulação seja regulada pela planta e sua acumulação em tecidos vegetais é reflexo da presença e disponibilidade do Se nos solos (Welch, 1995; Garvin et al., 2006).

O acúmulo de Se nos grãos variou de 15,5 - 471,7 mg ha⁻¹ com média de 91,4 mg ha⁻¹. Nota-se considerável variação para entre os cultivares (Tabelas 4 e 6). Os cultivares que demonstram os maiores valores de exportação de Se nos grãos foram LONDRINA (471,7 mg ha⁻¹), seguido dos cultivares ABALONE (232,2 mg ha⁻¹), OCEPAR 7 - BATUIRA (183,2 mg

ha⁻¹), BR1 (148,0 mg ha⁻¹), EMBRAPA 42 (145,4 mg ha⁻¹), BRS TIMBAÚVA (127,5 mg ha⁻¹) e CD 115 (109,2 mg ha⁻¹). No entanto, apenas os cultivares LONDRINA, ABALONE e OCEPAR 7 - BATUIRA foram mais eficientes no acúmulo de Se e com bom rendimento de grãos, sugerindo que não houve redução da concentração e acúmulo de Se devido a produtividade.

Resultados semelhantes foram reportados por Lyons et al. (2005), os quais verificaram que não houve qualquer redução na concentração de Se em grãos devido à altas produtividades, excluindo possível “efeito de diluição”. Esses mesmos autores também afirmam ter encontrado correlação positiva e significativa entre produtividade e concentração de Se nos grãos. No entanto, esse comportamento não foi observado no presente trabalho, houve baixa correlação entre produtividade e acúmulo e até mesmo correlação não significativa entre produtividade e concentração (Tabelas 3 a 6). Esses resultados corroboram com Johnsson (1991) e Tveitnes & Singh (1996) que encontraram pouca ou nenhuma relação entre produtividade e concentração de Se em grãos. Por outro lado, Donmez et al. (2001) e Garvin et al. (2006), descrevem que a evolução dos cultivares no rendimento produtivo, ao longo dos anos, tem levado a redução da concentração de Fe e Zn nos cultivares mais modernos. Para Se essa característica foi pouco observada.

O trigo é uma importante fonte alimentar no fornecimento de Se ao ser humano (Barrett et al., 1989; Lyons et al., 2003). Para atender aos níveis de Se requeridos por animais e homem, alimentos e forragens devem conter concentrações na faixa de 50 a 200 µg kg⁻¹ (Gissel-Nielsen et al., 1984). As concentrações de Se em grãos desse cereal são bastante variáveis, com valores de <1 µg kg⁻¹ a 30,000 µg kg⁻¹ (Lyons et al., 2005). Segundo Alfthan & Neves (1996), para a maioria do trigo produzido pelo mundo, a faixa média de intervalo de concentração de Se tem sido fixada de 20 a 600 µg kg⁻¹.

A gama de concentração de Se obtida no presente estudo abrange níveis deficientes e suficientes. Aproximadamente 75% dos cultivares não atingiram a concentração de Se mínima recomendada, estando à maioria abaixo de 50 µg kg⁻¹ (Figura 1). Entre os cultivares mais ricos em concentração natural, estão os cultivares LONDRINA (189,1 µg kg⁻¹), EMBRAPA 21 (167,9 µg kg⁻¹) e MENTANA (85,4 µg kg⁻¹). O cultivar YAQUI 54 apresentou concentração na faixa do limite crítico recomendado (50,8 µg kg⁻¹).

A faixa de ingestão entre a deficiência e a toxicidade de Se é relativamente estreita (Yang, 1994; Word Health Organization, 1996), variando de 30 µg kg⁻¹ a 900 µg kg⁻¹. Segundo

Gissel-Nielsen et al. (1984), a faixa ideal para se evitar a deficiência bem como a toxicidade, são concentrações de Se em grãos e pastagens entre 100 e 200 $\mu\text{g kg}^{-1}$.

No Brasil, as informações sobre ingestão de Se pela população em diversas regiões tem demonstrado um desbalanço no suprimento desse elemento, podendo encontrar níveis de ingestão bem abaixo do considerado mínimo, como nos estados de São Paulo e Mato Grosso com valores de 18 e 19 $\mu\text{g dia}^{-1}$, respectivamente. Cidades como São Paulo, Belém, Manaus e Macapá tem mostrado considerável variação na ingestão de Se por alimentos dessas localidades, 26,3; 37,4; 94,5 e 107 $\mu\text{g dia}^{-1}$, respectivamente. Na região Sul, o estado de Santa Catarina foi o que melhor apresentou dados de ingestão de Se pela população, variando de 52-139 $\mu\text{g dia}^{-1}$ (Moraes et al., 2009).

A maioria dos cultivares encontra-se abaixo do considerado mínimo adequado, mas nenhum acima ou tampouco próximo ao considerado como máximo, porém, mesmo o cultivar que apresentou maior concentração de Se (LONDRINA - 0,189 $\mu\text{g g}^{-1}$) pode ser capaz de contribuir suficientemente para a ingestão adequada de Se, qual se o consumo médio diário é de 146 g por pessoa dia^{-1} de farinha de trigo, só seria capaz de fornecer apenas 27 μg por pessoa dia^{-1} de Se.

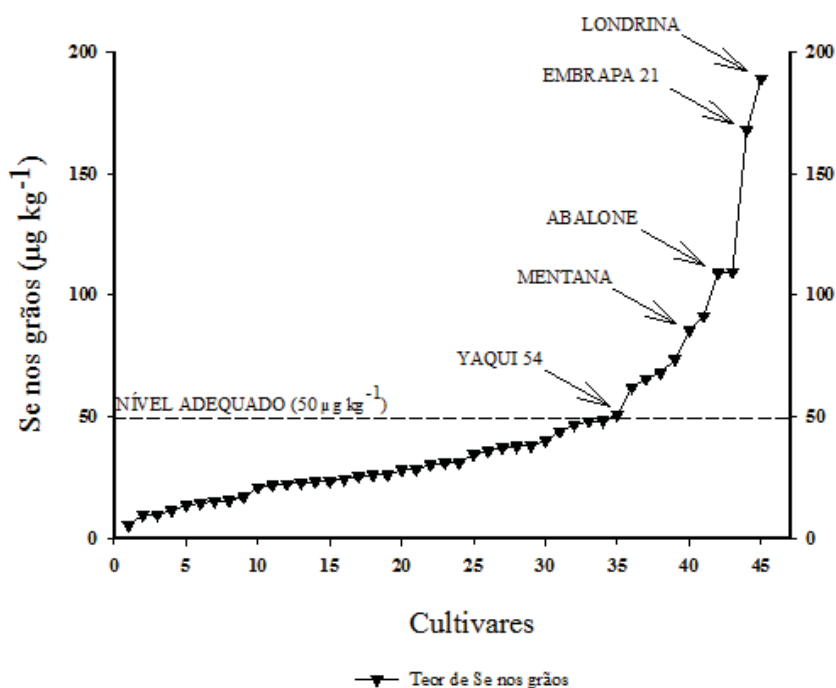


Figura 1. Variação genotípica de 45 cultivares de trigo em relação à concentração natural de Se nos grãos.

4 CONCLUSÃO

Os cultivares ABANOLE, EMBRAPA 21, LONDRINA e MENTANA foram identificadas como boas acumuladoras de selênio nos grãos e de boa produtividade de grãos, podendo serem utilizadas em futuros estudos para biofortificação em selênio;

Há baixa ou nula interação entre selênio e outros nutrientes nos grãos, sendo possível encontrar cultivares modernos ou antigos com altas concentrações de selênio nos grãos.

5 REFERÊNCIAS CITADAS

- ALFTHAN, G.; NEVE, J. Selenium intakes and plasma selenium levels in various populations. In *Natural Antioxidants and Food Quality in Atherosclerosis and Cancer Prevention*. Eds. J Kumpulainen and J Salonen. p. 161–167. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1996.
- BALINT, A. F.; KOVACS, G.; ERDEI, L.; SUTKA, J. Comparison of the Cu, Zn, Fe, Ca and Mg contents of the grains of wild, ancient and cultivated wheat species. *Cereal Res. Comm.* 29(3–4), p.375–382, 2001.
- BARRETT, J.; PATTERSON, C.; REILLY, C.; TINGGI, U. Selenium in the diet of children with phenylketonuria. In *Nutrient Availability: Chemical and Biological Aspects*. Eds. D A T Southgate, I T Johnson and G R Fenwick. p. 281–283. Royal Society of Chemistry, London, 1989.
- BRASÍLIA. MEMÓRIA DA REUNIÃO NACIONAL PARA CONSOLIDAÇÃO DO PROJETO DE REGULAMENTO TÉCNICO DO TRIGO, Brasília-DF, 2010.
- CARVER, B. F.; KLATT, A.; KRENZER, E. G. US hard red winter wheat pool, in *The World Wheat Book*, ed. by Bonjean AP and Angus WJ. Lavoisier, Paris, pp. 445–467, 2001.
- CARY, E. E.; ALLAEAY, W. H. The stability of different forms of selenium applied to low-selenium soils. *Soil Science Society of America Pro* 33, 571, 1969.
- CARY, E. E.; GILSSEL-NIELSEN, G. Effect of fertiliser anions on the solubility of native and applied selenium in soil. *Soil Science Society of America Pro* 37, 590, 1973.
- COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE – CBPTT. Informações Técnicas para Trigo e Triticale Safra 2013. In: VI Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. 215p, 2013.
- COMBS, G. F. Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition* 85, 517–547, 2001.
- DOMINGUES, C. R. S. Variação genotípica na concentração e acúmulo natural de selênio nos grãos de trigo. In: *Biofortificação agrônômica e utilização de selênio por cultivares de trigo*. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná – UFPR.
- DISTELFELD, A.; CAKMAK, I.; PELEG, Z.; OZTURK, L.; YAZICI, A. M.; BUDAK, H.; SARANGA, Y.; FAHIMA, T. Multiple QTL-effects of wheat Gpc-B1 locus on grain protein and micronutrient concentrations. *Physiologia Plantarum*. v. 129, p. 635-643, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema de Produção 9. Informações técnicas para trigo e triticales – Safra 2012. V Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticales. Dourados, Embrapa Oeste, p. 211, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Cultivares de Trigo – Embrapa & Iapar safra 2011. Londrina, Embrapa Soja, p. 27, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed., Rio de Janeiro, Embrapa Solos, p. 229, 2011.

GARVIN, D. F.; WELCH, M. R.; FINLEY, W. J. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. v.86, p.2213–2220, 2006.

GERLOGG, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In “Encyclopedia of Plant Physiology. New Series.” A. Lauchli and R. L. Bielecki (Eds.), Springer-Verlag, Berlin. v. 15B. p. 453– 480, 1983.

GISSEL-NIELSEN, G.; GUPTA, U.C.; LAMAND, M.; WESTERMARCK, T. Selenium in soils and plants and its importance in livestock and human nutrition. *Advances in Agronomy*, v.37, p.397-460, 1984.

GOODSON, C. C.; PARKER, D. R.; AMRHEIN, C. & ZHANG Y. Soil selenium uptake and root system development in plant taxa differing in Se-accumulating capability. *New Phytol.* 159(2), 391–401, 2003.

GUR, A.; ZAMIR, D. Unused natural variation can lift yieldbarriers in plant breeding. *Plos Biolody.*, 2:1610-1615, 2004.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M. Breeding for staple food crops with high micronutrient density. *Agricultural Strategies for Micronutrients*. Working International Food Policy Research Institute, Washington, D.C. Paper 3. pp. 1–72, 1996.

GRAHAM, R. D.; SENADHIRA, D.; BEEBE, S.; IGLESIAS, C.; MONASTERIO, I. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. *Field Crops Research* 60, 57–80, 1999.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; BOUIS, H. E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy*. v.70, p.77–142, 2001.

GRELA, E. R. Nutrient composition and content of antinutritional factors in spelt (T. Spelta L) cultivars. *Journal Science Food Agriculture*. 71, 399– 404, 1996.

HAWKESFORD, M. J.; ZHAO, F. J. Strategies for increasing the selenium content of wheat. *Journal of Cereal Sciences* 46, 282–292, 2007.

INSTITUTE FOR REFERENCE MATERIALS AND MEASUREMENTS - IRMM. CERTIFIED REFERENCE MATERIAL BCR - 402, White Clover. European Commission – Joint Research Centre, 3p, 2007.

JOHNSON, L. Selenium uptake as a function of soil type, organic matter content and pH. *Plant Soil* 133:57-64, 1991.

LYONS, G. H.; STANGOULIS, J. C. R.; GRAHAM, R. D. High-selenium wheat: biofortification for better health. *Nutrition Research. Reviews*. v.16, p.45– 60, 2003.

LYONS, G.H.; JUDSON, G.J.; STANGOULIS, J. C. R. Palmer LT, Jones JA, Graham RD. Trends in selenium status of South Australians. *Medical Journal of Australia*. 180(8):383–6, 2004.

LYONS, G.H.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; STANGOULIS, J.; GRAHAM, R.D. Selenium concentration in wheat grain: is there sufficient genotypic variation to use in breeding, *Plant Soil* 269, 369–380, 2005.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A - Mineropar. Atlas Geológico do Estado do Paraná. Curitiba, Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e Turismo, CD-ROM, 125p, 2001.

MORGOUNOV, A.; GOMEZ-BECERRA, H. F.; ABUGALIEVA, A.; DZHUNUSOVA, M.; YESSIMBEKOVA, M.; MUMINJANOV, H.; ZELENSKIY, Y.; OZTURK, L.; CAKMAK, I. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. *Euphytica*. 155, 193–203. 2007.

MORAES, M. F. Selênio em solos, planta e fertilizantes. In: II ENCONTRO SOBRE SELÊNIO E TELÚRIO – BRASIL, Campos do Jordão – SP. Livro de resumos do II Encontro sobre Selênio e Telúrio. Brasil. 118 p. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 19, 2008.

MORAES, M. F.; WELCH, R. M.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. Evidences of selenium deficiency in Brazil: From soil to human nutrition. In: BANUELOS, G. R.; LIN, Z. G.; YIN, X. B. (Eds). First International Conference on selenium in the environment and human health, 2009, Suzhou. Selenium: deficiency, toxicity and biofortification for human health. p. 116, University of Science and technology of China Press, p. 73-74, 2009.

MORAES, M.F.; ABREU Jr, C.H.; HART, J.J.; WELCH, R.M.; KOCHIAN, L.V. Genotypic variation in micronutrient and cadmium concentrations in grains of 35 upland rice cultivars. In: World Congress of Soil Science, 19, 2010, Brisbane, Australia. Proceedings... Brisbane: Queensland Government, 3p. (CD-ROM) 2010.

MORAES, M.F.; RAMOS, S.J.; GUILHERME, L.R.G. Beneficial roles of selenium in plants. In: BANUELOS, G.R., LIN, Z.Q., YIN, X.B. (Eds). Second International Conference on Selenium in the Environment and Human Health, 2011. Suzhou. Selenium: Global perspectives of impacts on humans, animals and the environment. Hefei: University of Science and Technology of China Press, p. 111-112, 2011.

NOBLE, R. M.; BARRY, G. A. Survey of selenium concentrations in wheat, sorghum and soybean grains, prepared poultry feeds and feed ingredients from Queensland Journal of Agricultural & Animal Science. v.39, p.1–8, 1982.

PETERSON, C. J.; JOHNSON, V. A.; MATTERN, P. J. Influence of cultivar and environment on mineral and protein concentrations of wheat flour, bran, and grain. Cereal Chemistry 63, 183–186, 1986.

PEZZAROSSA, B.; PICCOTINO, D.; SHENNAN, C.; MALORGIO, F. Uptake and distribution of selenium in tomato plants as affected by genotype and sulphate supply. Journal Plant Nutrition 22, 1613–1635, 1999.

PELEG, Z.; SARANGA, Y.; YAZICI, A.; FAHINA, T.; OZTURK, L.; CAKMAK, I. Grain zinc, iron and protein concentrations and zinc-efficiency in wild emmer wheat under contrasting irrigation regimes. Plant Soil 306, 57–67, 2008.

PIERGIOVANNI, A. R.; RIZZI, R.; PANNACCIULLI, E.; DELLA GATTA, C. Mineral composition in hulled wheat grains: a comparison between emmer (*Triticum dicoccon* Schrank) and spelt (*T. Spelta* L) accessions. Int. Juornal Food Science Nutrition. v.48, 381–386. 1997

PILON-SMITS, E. & QUINN, C. Selenium metabolism in plants. In: HELL, R.; MENDEL, R. R. (Ed.). Cell biology of metals and nutrients. Berlin: Plant Cell Monographs, chap. 10, p. 225–241, 2010.

RAMOS, S.J.; RUTZKE, M.R.; HAYES, J.; FAQUIM, V.; GUILHERME, L.R.G.; LI, L. Selenium accumulation in lettuce germplasm. Planta: 233, p.649–660, 2010.

ROSSI, R. M. & NEVES, M. F. Estratégias para o trigo no Brasil. Ed. Atlas S/A, 2004.

TANKSLEY, S.D.; MCCOUCH, S.R. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. Science 277:1063–1066, 1997.

TVEITNES, S.; SINGH, B. R.; RUUD, L. Selenium concentration in spring wheat as influenced by basal application and top dressing of selenium-enriched fertilizers. Fert. Res. 45, 163–167, 1996.

SANDS, D. C.; MORRIS, C. E.; DRATZ, E. A.; PILGERAM, A. L. Elevating optimal human nutrition to a central goal of plant breeding and production of plant-based foods. Plant Science. v.177, p.377–389, 2009.

SEREGINA, I. I.; NILOVSKAYA, N. T.; OSTAPENKO, N. O. The role of selenium in the formation of the grain yield in spring wheat. Agrokhimiya. 1, 44–50, 2001.

SCHEEREN, P.L.; CARVALHO, J.L.V.; CAIERÃO, E.; BASSOI, M.C.; FRONZA, V.; ALBRECHT, J.C.; JÚNIOR, W.Q.R.; MIRANDA, M.Z.; TORRES, G.A.M.; TIBOLA, C.S.; BONOW, S. Biofortificação de trigo no Brasil. In: III Reunião Anual de Biofortificação no Brasil, 3, 2009, Aracaju. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009 (CD-ROM).

SCHEEREN, P. L.; CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R.; CAIERÃO, E.; BASSOI, M. C.; ALBRECHT, J. C.; CASTRO, R. L.; MIRANDA, M. Z.; TORRES, G. A. M.; SALETE, C. BIOFORTIFICAÇÃO EM TRIGO NO BRASIL. IV Reunião de Biofortificação. 2011.

UAUY, C.; DISTELFELD, A.; FAHIMA, T.; BLECHL, A.; DUBCOVSKY, J. A NAC gene regulating senescence improves grain protein, zinc, and iron content in wheat. *Science* 314, 1298–1301, 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Revision 1 Feb 2007. 30p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em 27 janeiro 2015.

WATERS, B. M.; UAUY, C.; DUBCOVSKY, J.; GRUSAK, M. A. Wheat (*Triticum aestivum*) NAM proteins regulate the translocation of iron, zinc, and nitrogen compounds from vegetative tissues to grain. *Journal of Experimental Botany*. 60, 4263–4274. 2009.

WELCH, R.M. Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 14:49–82, 1995.

WHITE, P.J.; BRADSHAW, J.E.; DALE, M.F.B.; RAMSAY, G.; HAMMOND, J.P.; BROADLEY, M.R. Relationships between yield and mineral concentrations in potato tubers. *HortScience*, v.44, n.1, p.6-11, 2009.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*. v.182, 49–84, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Trace Elements in Human Nutrition and Health. Geneva: World Health Organisation, 1996.

YAN, J.; WANG, F.; QIN, H.; CHEN, G.; EVIATAR, N.; FAHIMA, T.; CHENG, J. Natural variation in grain selenium concentration of wild barley, *Hordeum spontaneum*, populations from Israel, *Biological Trace Element Research*. 142, 773–786, 2011.

YANG, G.; ZHOU, R. Further observations on the human maximum safe dietary selenium intake in a seleniferous area of China. *Journal of Trace Elements and Electrolytes in Health and Disease* v.8, p. 159–165, 1994.

YANG, F.; CHEN, L.; HU; PAN, G. Effect of the application of selenium on selenium content of soybean and its products. *Biological Trace Element Research*. v.93, 249–256, 2003.

ZHÃO, F. & SHEWRY, R. P. Recent developments in modifying crops and agronomic practice to improve human health. *Food Policy* 36, S94-S101, 2011.

ZHAO, F. J.; SU, Y. H.; DUNHAM, S. J.; RAKSZEGLI, M.; BEDO, Z.; McGRATH, S. P.; SHEWRY, P. R. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. *Journal of Cereal Science*. v.49 290–295, 2009.

ZHANG, Y.; PAN, G.; CHEN, J.; HU, Q. Uptake and transport of selenite and selenate by soybean seedlings of two genotypes. *Plant Soil* 253: 437–443, 2003.

CAPÍTULO III – UTILIZAÇÃO DE SELÊNIO POR CULTIVARES DE TRIGO

RESUMO

A biofortificação agronômica tem sido considerada uma das maneiras mais viáveis do ponto de vista prático, rápido e econômico, para elevar os níveis de nutriente e vitaminas nos alimentos. O uso desse método justifica-se por ser uma forma eficiente e segura para o ambiente e por enriquecer naturalmente diversos elementos alvos, entre eles o Se. Foi realizado experimento com oito cultivares de trigo selecionadas previamente como contrastantes na acumulação de Se em grãos. Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado, com (0,5 mg dm⁻³ Se) e sem aplicação de Se. Cada unidade experimental foi representada por vasos com 3 kg⁻¹ de solo, com três repetições. Houve efeito positivo da aplicação de Se na concentração e acúmulo de Se nos grãos de trigo de todos os oito cultivares, sem diferença significativa na concentração entre as mesmas. Os cultivares BRS Guamirim e Mentana apresentaram o maior valor médio de concentração de Se (2,8 mg kg⁻¹), seguidos de Abalone e BRS Parrudo (2,6 mg kg⁻¹), Londrina (2,5 mg kg⁻¹), CD 150 e Embrapa 21 (2,1 mg kg⁻¹) e BRS 210 (2,0 mg kg⁻¹). Nos tratamentos sem aplicação de Se, não foi possível detectar Se nos grãos. A produtividade de grãos não variou entre os cultivares, independente da aplicação de Se. Observou-se baixa variação nas concentrações de macronutrientes e micronutrientes, assim como na interação entre produtividade, nutrientes e Se. Ocorreram maiores concentrações de Se e micronutrientes na folha diagnóstica em relação aos grãos. A adição de Se ao solo foi eficiente quanto ao enriquecimento de Se nos grãos, ficando comprovado ser uma prática eficaz para biofortificação do trigo. Os cultivares foram altamente responsivos a aplicação de Se no solo, independente do seu potencial natural em concentrar Se. Não há variabilidade genética para acumulação de Se em trigo, sendo a condição ambiental mais importante no fornecimento de Se as plantas.

Palavras-chave: Biofortificação agronômica, micronutrientes, qualidade de alimentos.

CHAPTER III – USE OF SELENIUM BY WHEAT CULTIVARS

ABSTRACT

Agronomic biofortification is considered to be one of the most practical, rapid and inexpensive ways to increase the levels of nutrients and vitamins in foods. The use of this method is justified by its efficiency and environmental safety, as well as the possibility of naturally enriching various target elements in plants, among them Se. An experiment was conducted with eight wheat cultivars selected previously for having contrasting accumulation of Se in the grains. The experimental design was completely randomized, with (0.5 mg dm^{-3}) and without application of Se. Each experimental unit was represented by a pot containing 3 kg^{-1} of soil, with three repetitions. There was a positive effect of supplying Se on the concentration and accumulation of Se in the grains of all eight wheat cultivars, without significant differences in concentration among them. The cultivars BRS Guamirim and Mentana presented the highest average Se concentration (2.8 mg kg^{-1}), followed by Abalone and BRS Parrudo (2.6 mg kg^{-1}), Londrina (2.5 mg kg^{-1}), CD 150 and Embrapa 21 (2.1 mg kg^{-1}) and BRS 210 (2.0 mg kg^{-1}). In the treatments without application of Se, it was not possible to detect Se in the grains. The grain yields varied among the cultivars, irrespective of the application of Se. There was low variation in the concentrations of macronutrients and micronutrients, as well as the interaction of productivity, nutrients and Se. Higher concentrations of Se and micronutrients were found in the diagnostic leaves than in the grains. The addition of Se in the soil was efficient for enrichment of Se in the grains, demonstrating this is an effective practice for biofortification of wheat. The cultivars were highly responsive to Se application in the soil, independent of their natural potential to concentrate Se. There was no genetic variability for accumulation in the cultivars studied, for which environmental conditions were more important in supplying Se to the plants.

Keywords: Agronomic biofortification, micronutrients, food quality.

1 INTRODUÇÃO

Diversas, são as maneiras para garantir que os alimentos contenham Se em sua constituição mineral. Uma alternativa, fazendo extrapolação de estudos com Fe e Zn, é através do melhoramento genético e/ou transgenia, com diversas e avançadas técnicas, denominada “biofortificação genética” (White & Broadley, 2005). Outra alternativa, baseia-se no manejo adequado de nutrientes através da adubação, sendo uma prática complementar para que se possa elevar o potencial de enriquecimento de nutrientes e vitaminas nos alimentos, denominada “biofortificação agrônômica” (Welch, 2008). Essa última é considerada uma das maneiras mais viáveis do ponto de vista prático, rápido e econômico para elevar o Se a níveis adequados nos alimentos (Thavarajah et al., 2007). Na literatura há descrito diversas pesquisas que indicam e justificam o uso da biofortificação agrônômica como forma eficiente e segura para o ambiente, no enriquecimento natural de diversos elementos alvos, entre eles o Se (Gissel-Nielsen, et al., 1984; Yilmaz et al., 1997; White & Broadley, 2005; Moraes et al., 2009; Cakmak et al., 2010).

No Brasil, tem sido relatado que a concentração de Se nos alimentos consumidos, principalmente os de origem vegetal, está a baixo dos padrões internacionais (Ferreira et al., 2002). Segundo Boaventura & Cozzolino (1993), os estados de São Paulo e Mato Grosso são alguns dos que demonstraram baixa ingestão do elemento, sendo atribuídas as baixas concentrações do elemento nos solos agrícolas como fator determinante (Ferreira et al., 2002). A distribuição e dinâmica do Se em solos geralmente é irregular e dependente de vários fatores como material de origem. Para sua mobilidade e disponibilidade nos solos, pode se destacar como fatores envolvidos, o pH, tipo de argila, potencial de oxi-redução e conteúdo de matéria orgânica (Gissel-Nielsen, 2002; Cartes et al., 2005). A disponibilidade do Se está atribuída ao aumento do pH, com consequente aumento de cargas negativas dependente do mesmo, favorecendo as formas iônicas de selenato. No entanto, solos com teores de oxihidroxidos e de matéria orgânica mais elevada, tendem a diminuir a disponibilidade do Se devido à promoção de forte retenção do ânion Se a essas frações.

Embora existam solos com concentrações de Se total acima de 1200 mg kg⁻¹, denominados de seleníferos, a concentração de Se na maioria dos solos está na faixa de 0,01 a 2,0 mg kg⁻¹. De acordo com alguns estudos realizados no Brasil, as faixas de concentração de Se tem se apresentado na faixa de < 0,001 a 0,80 mg kg⁻¹ em algumas regiões (Paiva Neto & Gargantini, 1956; Fichtner et al., 1990)

A adubação torna-se necessária quando a acumulação de Se nas partes comestíveis das plantas é limitada pela baixa disponibilidade no solo. Em razão de não ser essencial para as plantas, os baixos níveis de Se no solo não o torna um fator limitante para o crescimento vegetal (Zhão & Shewry, 2011). A Finlândia foi o primeiro país do mundo a adotar uma ampla estratégia de aplicação de Se no solo em pequenas quantidades junto com a adubação, com objetivo de melhorar o conteúdo de Se nos alimentos, como em carnes, através de forragens adubadas com Se e também em lavouras de trigo, ambas recebendo quantidades de Se de aproximadamente 10 g ha^{-1} (Hartikainen, 2005). Essa prática iniciada em 1984 tem aumentado as concentrações de Se em culturas alimentares e, consequentemente melhorando a ingestão de Se pela população finlandesa, para níveis recomendados (Hartikainen, 2005). No Reino Unido, grãos de trigo teve sua concentração de Se aumentada em até 10 vezes em relação ao nível comumente encontrado, através da adição de 10 g ha^{-1} de Se aplicado no solo (Broadley et al., 2010).

O potencial genético dos cultivares pode não ter grande influencia sobre a absorção e acumulação de Se (Lyons et al., 2005). A adição de Se no solo e também por outros métodos de aplicação, tem sido a alternativa mais eficiente para melhorar a qualidade dos alimentos em minerais. Todavia, faltam estudos avaliando a interação entre potencial genético e manejo de aplicação de selênio para biofortificação do trigo.

Os objetivos do presente estudo foram: 1) avaliar a influência genotípica na utilização e resposta de cultivares de trigo ao selênio; 2) avaliar a interação do Se com macros e micronutrientes nos grãos, relacionando com a produtividade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e solo

O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná (DSEA/UFPR), em Curitiba, PR, no período de abril a setembro de 2014. Como substrato foi utilizado um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico (EMBRAPA, 2006), o qual foi coletado na profundidade de 0 a 20 cm, no município de Ponta Grossa, PR, nas seguintes coordenadas geográficas: 25° 17' 45" S e 49° 55' 54" O. O material de origem dos solos da região é o Arenito da Formação Ponta Grossa, com teor total de selênio de 0,43 mg kg⁻¹ (MINEROPAR, 2001). Escolheu-se um solo de textura arenosa, pois segundo Neal (1993), são solos considerados de baixos teores de Se, variando de <0,01 a 0,05 mg kg⁻¹.

2.2 Caracterizações física e química do solo

Antes da implantação do experimento, foram caracterizados os atributos físicos e químicos do solo. Na análise granulométrica, as proporções de areias, silte e argila foram de: 718 g kg⁻¹ de areia-grossa; 144 g kg⁻¹ de areia-fina; 863 g kg⁻¹ de areia-total; 50 g kg⁻¹ de silte e 88 g kg⁻¹ de argila.

As características químicas do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, foram determinadas antes da instalação do experimento e os resultados foram os seguintes: pH (CaCl₂ - relação solo:solução 1:2,5) - 5,1; pH (SMP) - 6,8; C (por dicromato/ espectrofotometria colorimétrica UV) - 32,9 g dm⁻³; Ca (por KCl 1 M/ AAS) - 2,6 cmol_c dm⁻³; Mg (extraído com KCl 1 M/AAS) - 2,1 cmol_c dm⁻³; K (por Mehlich-1/fotometria de emissão por chama) - 0,03 cmol_c dm⁻³; Al (por KCl 1 M/titulometria) - 0,1 cmol_c dm⁻³; H⁺ Al (estimado pelo pH SMP) - 1,8 cmol_c dm⁻³; soma de bases (SB) - 4,73 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica (CTC) - 6,5 cmol_c dm⁻³; P (por Mehlich-1/ espectrofotometria colorimétrica UV) - 2,6 mg dm⁻³; saturação por bases (V%) - 72 %; saturação por Al (m%) - 2,1 %; Cu (por Mehlich-1/ AAS) - 0,20 mg dm⁻³; Mn (por Mehlich-1 AAS) - 24,40 mg dm⁻³; Fe (por Mehlich-1/ AAS) - 86,50 mg dm⁻³; Zn (por Mehlich-1/ AAS) - 2,20 mg dm⁻³.

2.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos por combinações de oito genótipos de trigo com duas doses de Se, os quais resultaram em 16 tratamentos, que foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e totalizando 48 unidades experimentais.

A seleção dos genótipos de trigo baseou-se nos resultados de Domingues (2015), o qual identificou cultivares contrastantes quanto ao acúmulo de Se em grãos e informações de experimentos prévios (Scheeren et al., 2009), mediante critérios com base em características de desempenho agrônomo, qualidades tecnológicas e de potencial para biofortificação em micronutrientes (altos teores de Fe e Zn) nos grãos.

2.4 Instalação e desenvolvimento experimental

As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos com capacidade para até 3 dm³ de solo, os quais foram cheios com solo seco ao ar após ser passado em peneira com malha de 2 mm de abertura. Após a execução do preparo dos vasos com solo, os mesmos foram transportados até a casa de vegetação e dispostos sobre bancadas.

Não houve necessidade de efetuar a correção do solo, uma vez que a saturação por bases estava acima de 70 %, conforme recomendado pela Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale - CBPTT (2013) para cultura do trigo. A adubação básica e tratamentos com aplicação de Se foram misturados ao solo e procedida incubação por 30 dias, com umidade a 60% da capacidade de retenção de água pelo solo.

Os nutrientes da adubação básica foram fornecidos como reagentes pró-análise, nas seguintes doses (Malavolta, 1980): 50 mg dm⁻³ de nitrogênio ([NH₄]₂SO₄ / NH₄NO₃ com 24 e 34,5 % de N); 200 mg dm⁻³ de fósforo (CaHPO₄ com 22,7 % de P); 50 mg dm⁻³ de potássio (KNO₃ / KCl com 38,6 e 47,5 % de K); 25 mg dm⁻³ de enxofre ([NH₄]₂SO₄ com 24 % de S); 1 mg dm⁻³ de boro (H₃BO₃ com 17,5 % de B); 0,1 mg dm⁻³ de cobalto (CoSO₄.7H₂O com 37 % de Co); 1 mg dm⁻³ de cobre (CuSO₄.5H₂O com 25 % de Cu); 5 mg dm⁻³ cloro (KCl com 47,5 % de Cl); 5 mg dm⁻³ manganês (MnSO₄.H₂O com 32,5 % de Mn); 3 mg dm⁻³ de zinco (ZnSO₄.H₂O com 36 % de Zn); 0,25 mg dm⁻³ de molibdênio ([NH₄]₆Mo₇O₂₄.4H₂O com 54 % de Mo) e 0,25 mg dm⁻³ de níquel (NiSO₄.6H₂O com 22 % de Ni). Os tratamentos com aplicação de Se receberam 0,5 mg dm⁻³ de Se na forma de selenato de sódio (NaSeO₄ com 47,5 % de Se). Para adubação e adição de Se foram preparadas três soluções nutritivas estoque, sendo uma

para os macronutrientes (N, K, Ca e Mg), outra para os micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) e uma última para o Se. O P foi fornecido misturado ao solo de cada vaso antes da aplicação das soluções nutritivas.

Transcorrido o período de 30 dias de incubação dos vasos, foram colocadas dez sementes de cada genótipo a 0,5 cm de profundidade do solo. Quinze dias após a germinação e emergência das plântulas, deu-se início às operações de desbastes periódicos até restarem três plantas em cada vaso.

No estágio vegetativo pleno e início de florescimento foram realizadas as adubações de cobertura com N, K e S, sendo feito o parcelamento em duas aplicações, adicionados na forma de solução nas seguintes doses (mg dm^{-3}): N - 100; K - 100 e S - 25 (aplicação somente na primeira cobertura), segundo as recomendações de Malavolta (1980). Durante todo o ciclo da cultura foram efetuadas regas diárias com água deionizada, mantendo-se a umidade em 60 % da capacidade de retenção de água pelo solo. Folhas-bandeira foram coletadas no início do estágio de florescimento, segundo Cantarella et al. (1997). Após o estágio de enchimento de grãos, no fim da senescência e maturação, as regas foram reduzidas até serem suspensas por definitivo, para posterior colheita manual das espigas.

Quando se fez necessário, no decorrer do desenvolvimento das plantas, foram realizados os devidos tratos culturais e fitossanitários, como arranquio manual de plantas invasoras nos vasos, combate ao ataque de pragas e doenças fúngicas.

2.5 Avaliações de desempenho agrônômico

Após as plantas completarem o estágio vegetativo pleno, foram determinados os número de filhotes. Em seguida, durante o estágio de florescimento, avaliou-se a altura das plantas. Ao final do estágio de maturação e colheita das espigas, foram realizadas a contagem do número e comprimento de espigas e avaliação do rendimento de grãos.

2.6 Estimativa do teor de clorofila (índice SPAD)

A leitura SPAD, qual fornece indiretamente a medida do teor de clorofila na folha, foi realizada entre os 45 e 60 dias após a semeadura do trigo, no estágio vegetativo. Foi usado um clorofilômetro manual, o qual foi aplicado sobre o limbo foliar, no terço-médio da primeira

folha abaixo da folha-bandeira (Minolta Camera, 1989). Foram realizadas 12 leituras por unidade experimental e utilizada a média dessas leituras como valor SPAD para cada vaso.

2.7 Atividades de enzimas assimiladoras de nitrogênio

2.7.1 Determinação da atividade da enzima nitrato redutase (RNO_3)

A determinação da atividade da enzima RNO_3 se baseia na produção de nitrito (NO_2^-) pelas enzimas durante período de incubação de discos ou cortes de folhas em meio com tampão fosfato contendo nitrato (NO_3^-).

No estágio vegetativo das plantas, de duas a três folhas completamente expandidas abaixo da folha bandeira, foram cortadas aleatoriamente entre os afilhos das três plantas de cada vaso. Rapidamente foram acondicionadas em caixa térmica de isopor contendo gelo, para manter a massa vegetal fresca durante o transporte até o laboratório.

No laboratório as folhas foram rapidamente lavadas com água deionizada, secas com papel toalha e em seguida, descartado o terço-inicial e final das folhas, para posteriormente o terço-médio ser cortado em fragmentos de 1 mm de largura (evitando-se nervuras). Em duplicata, 0,20 g de massa vegetal das amostras foram pesadas e colocadas em tubos de ensaio contendo 4 mL de tampão fosfato (pH 7,4). O tampão fosfato foi preparado com fosfato monossódico (NaH_2PO_4 0,2 mol L^{-1}), fosfato de sódio dibásico (Na_2HPO_4 0,5 mol L^{-1}) acrescido de nitrato de potássio (KNO_3 0,25 mol L^{-1}). O NO_3^- presente no tampão foi utilizado como substrato para fornecer a enzima presente no tecido vegetal, condição de atividade para converter NO_3^- em NO_2^- .

As amostras foram incubadas em “banho maria” a 37°C por duas horas, protegidas da luz com folhas de alumínio, com agitações em intervalos constantes. Transcorrido o período de incubação, alíquotas de 1 mL do extrato foram colocadas em outros tubos de ensaio para determinação do NO_2^- produzido, adicionando 10 mL de água deionizada e 1 mL de ácido sufanílico ($\text{C}_6\text{H}_7\text{HO}_3\text{S}$) a 1% em ácido clorídrico (HCl 2 mol L^{-1}) e repouso por 5 a 10 minutos, para paralisar a atividade enzimática. Para conferir coloração ao NO_2^- , mais 1 mL de alfa-naftilamina ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}_2$ 193 mmol L^{-1}) foi acrescido ao tubo, seguido de leve agitação e adição e mistura de 1 mL de acetato de sódio (CH_3COONa 2 mol L^{-1}). No intervalo entre 10 a 30 minutos após adição de reagentes procedeu-se a quantificação do NO_2^- em espectrofotômetro,

comprimento de onda de 540 nm, utilizando curva padrão de nitrato de sódio (NaNO_2). Método adaptado de Hewitt & Smith (1975) e Mulder et al. (1959).

2.7.2 Determinação da atividade da enzima urease

A análise de atividade da enzima urease baseia-se na determinação do NH_4^+ produzido em extrato, com posteriormente quantificação em espectrofotômetro, comprimento de onda de 625 nm. A atividade da enzima foi realizada no estádio de enchimento de grãos e em virtude da variação nos ciclos dos genótipos (precoce, médio e tardio), as análises foram procedidas quando cada genótipo estava na fase de enchimento de grãos.

As análises foram realizadas durante o período da manhã, entre 11:00 h e 12:00 h. Duas a três folhas completamente expandidas abaixo da folha bandeira foram cortadas aleatoriamente entre os afilhos das três plantas em cada vaso e rapidamente foram acondicionadas em caixa térmica contendo gelo, para manter a massa vegetal fresca durante o transporte até o laboratório.

No laboratório as folhas foram rapidamente lavadas com água deionizada, secas com papel toalha e em seguida, descartado o terço-inicial e final das folhas para posteriormente o terço-médio ser cortado em fragmentos de 1 mm de largura (evitando-se as nervuras). Em duplicata, 0,25 g de massa vegetal das amostras foram pesadas e colocadas em tubos de ensaio contendo 8 mL de tampão fosfato com uréia (pH 7,4), para determinação da concentração de amônia (NH_3). O tampão foi preparado com fosfato monossódico (NaH_2PO_4 0,2 mol L^{-1}), fosfato de sódio dibásico (Na_2HPO_4 0,5 mol L^{-1}), n-propanol (0,66 mol L^{-1}) e ureia ($\text{CO}[\text{NH}_2]_2$ 0,21 mol L^{-1}). O n-propanol foi utilizado para aumentar a permeabilidade dos tecidos e evitar a formação de amônio (NH_4^+) devido a presença de micro-organismos.

As amostras foram incubadas em “banho maria” a 30°C por três horas, protegidas da luz com folhas de alumínio e com agitações em intervalos constantes. Transcorrido o período de incubação, alíquotas de 0,5 mL do extrato foram colocadas em outros tubos de ensaio para extração da NH_3 , adicionando 2,5 mL do reagente I - fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ 0,1 mol L^{-1}) + nitroprussinato de sódio (SNP) ($\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$ 170 $\mu\text{mol L}^{-1}$), seguido da adição de mais 2,5 mL do reagente II - hidróxido de sódio (NaOH 0,125 mol L^{-1}) + fosfato dissódico ($\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 0,15 mol L^{-1}) + hipoclorito de sódio (NaOCl com 3% de Cl_2). Novamente os tubos foram vedados, envolvidos por folhas de alumínio e incubados em “banho maria” a 37°C por mais 35 minutos. Por fim, após os tubos terem atingido temperatura ambiente, procedeu-se

a leitura utilizando curva padrão de cloreto de amônio (NH_4Cl). Método adaptado de Hogan et al. (1983) e McCullough (1967).

2.8 Determinação das concentrações Se, macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) em tecido vegetal

2.8.1 Determinação das concentrações em grãos

Após as plantas completarem senescência, as espigas foram cortadas e colocadas em sacos de papel e, em seguida, foram mantidas em estufa a 65°C por 72 horas. Posterior à secagem, as espigas foram debulhadas manualmente, separando grãos de palhiço e em seguida os grãos foram pesados e moídos.

Para abertura das amostras, em duplicata, 0,5 g de material vegetal foram colocados em 10 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3 - 65 % v/v) em tubos de teflon. Após serem mantidos em pré-digestão por três horas, foram hermeticamente fechados e submetidos à digestão empregando-se forno com radiação micro-ondas (1500 W de potência) em temperatura média de 200°C, segundo o método SW 846 - 3051A descrito pela United States Environmental Protection Agency - USEPA (2007). Para evitar possíveis perdas de compostos voláteis, como Se, esperou-se que os tubos atingissem a temperatura ambiente, para em seguida, proceder a filtragem do extrato em papel filtro analítico (filtragem rápida). O volume final foi completado para 20 mL com água deionizada. Cada bateria de análise continha duas amostras de concentrações conhecidas, como padrão de referência do valor do elemento-traço de interesse (White Clover - BCR 402 com 6,7 mg kg⁻¹ de Se), certificado pelo Institute for Reference Materials and Measurements (2007) e uma amostra em branco para fins de controle de qualidade e cálculo do limite de detecção (LD). A recuperação do Se para o padrão BCR 420 foi de 52,3 % (média das recuperações em cada bateria).

A determinação da concentração de Se foi realizada empregando-se um espectrofotômetro de absorção atômica, com atomização por forno de grafite acoplado (GF – AAS). A determinação das concentrações dos macros (P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Zn, B, Cu, Mn, Co, Mo e Ni) foram realizadas por espectrometria de emissão óptica, com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). Para as determinações do carbono e nitrogênio total, pesou-se entre 15 e 20 mg de amostra em duplicata, que foram incineradas via combustão seca em analisador elementar vario EL III.

2.8.2 Determinação das concentrações em folha diagnóstico (folha bandeira)

Duas a três folhas-bandeira foram coletadas aleatoriamente entre os afilhos das três plantas em cada vaso e levadas até o laboratório em sacos de papel. Em seguida foram lavadas rapidamente com água deionizada, enxugadas com papel toalha e novamente guardadas em sacos de papel e mantidas em estufa a 65°C por 72 horas. Depois de retiradas da estufa, as folhas foram pesadas e em seguida moídas.

Para abertura das amostras, em duplicata, procedeu-se digestão úmida em sistema fechado assistido por micro-ondas, conforme descrito no item (2.8.1), segundo método 3051A - USEPA (2007). O Se foi determinado em Espectrometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite (GF - AAS). Os macros (P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) foram determinados por ICP-OES. O nitrogênio total por combustão seca em analisador elementar.

2.9 Determinações da concentração de Se no solo

Para determinação da concentração de Se no solo, retirou-se três amostras aleatoriamente de três vasos de cada tratamento, posteriormente as amostras foram secas e maceradas em graal e em seguida passadas em peneira de malha de 0,5 micrometros. Em duplicata, cada amostra foi pesada e a quantidade de cada amostra foi de 0,5 mg. O procedimento analítico transcorreu conforme o item 2.8.

2.10 Determinações da alocação dos teores de Se, Fe e Zn em espigas

Procedeu-se o fracionamento em duas partes da espiga, em base e ponta que foram debulhadas e analisadas separadamente. O critério para escolha dos cultivares para essa análise se baseou na concentração de Se nos grãos. Sendo escolhidos os mais representativos nesse atributo.

2.11 Análises estatísticas

Foi empregado o software *Assistat* - (versão 7.7). Procedeu-se à análise de variância (teste F), teste de comparação de médias (Tukey 5%) para produtividade, componentes de desempenho agrônômico, estimativa do teor de clorofila e atividades enzimáticas, concentração de Se em grãos da base e ponta da espiga, concentração e acúmulo dos elementos entre os cultivares em grãos e folha diagnóstico. Foram realizadas também correlações entre os elementos na folha diagnóstico, grãos e produtividade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produtividade e componentes de desempenho agronômico

Os resultados da avaliação de produtividade e dos componentes de crescimento de cultivares de trigo encontram-se na Tabela 7 e Figura 2. Avaliando-se individualmente o rendimento de grãos dos cultivares sob o efeito dos tratamentos e cultivares, observa-se que não houve diferença significativa, nem mesmo com a aplicação de Se ($0,5 \text{ mg dm}^{-3}$).

Quanto aos dados de crescimento, pouca variação pode ser observada entre cultivares e entre tratamentos (Tabela 7). De modo geral, as diferenças entre cultivares nos aspectos de crescimento, afilamento, altura de plantas, comprimento de espiga e matéria seca da parte aérea, estão relacionados às características peculiares de desenvolvimento de cada cultivar. Essas características variaram ao longo do tempo, sendo modificadas para atender demandas de melhores desempenhos produtivos e agronômicos.

Os resultados do presente estudo concordam com os relatados por Lyons et al. (2004), os quais não verificaram redução no rendimento de grãos de variedades de trigo quando submetidos a aplicação de Se. A adição de Se no solo na semeadura proporcionou concentração de até 25 mg kg^{-1} de Se nos grãos de trigo, sem ocorrer redução da produtividade. Ylänta, 1984, relata em seus estudos utilizando grama forrageira (*Phleum pratense L*), que nenhuma redução na produtividade foi observada, mesmo com adição de níveis relativamente altos de Se (500 g ha^{-1}). Por outro lado, Seregina et al. (2001) constataram incrementos ou perda de produtividade com a adição de selenito de sódio no tratamento de sementes de trigo. Da mesma forma, Martinez et al. (2009), obtiveram redução de produtividade em soja devido à aplicação de doses de Se a partir de $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$.

Segundo Johnsson (1991), a produção de matéria seca da parte aérea de trigo diminuiu com a aplicação de Se. Todavia, conforme relata Mora et al. (2008), altas doses de Se podem levar a fitotoxicidade na cultura e, conseqüentemente, redução do seu desenvolvimento. Esses autores demonstraram que a aplicação Se na forma de selenito de sódio em quantidades equivalentes a 40 g ha^{-1} , resultando em uma diminuição de até 22 % no crescimento da parte aérea de trevo branco. Em trabalho similar, Smith & Watkinson (1984) observaram diminuição na produção de matéria seca da parte aérea em capim, espécie (*Lolium perenne*), ao receber aplicação de Se que variou de 0 a 10 mg kg^{-1} de solo.

A tolerância a níveis de concentração de Se em plantas é variável entre espécies Terry et al., 2000; Dhillon & Dhillon, 2003; White et al., 2004. Desta forma, determinada espécie

pode ser mais tolerante que outra, dependendo o nível de Se. Também pode estar relacionado à sua disponibilidade no solo, que por sua vez depende do material de origem e fatores como pH, tipo de argila, potencial de oxi-redução e conteúdo de matéria orgânica (Gissel-Nielsen, 2002).

Relacionando produtividade com atributos biométricos, notam-se relações na sua maioria negativa e significativa (Tabela 8). Tais diferenças podem ter associação com diferenças genéticas entre cultivares para produção de MSPA, afilamento e espigamento, altura de plantas e comprimento de espigas. Diferenças em produção de biomassa não necessariamente se traduzem em mudanças no rendimento de grãos (Tabela 7).

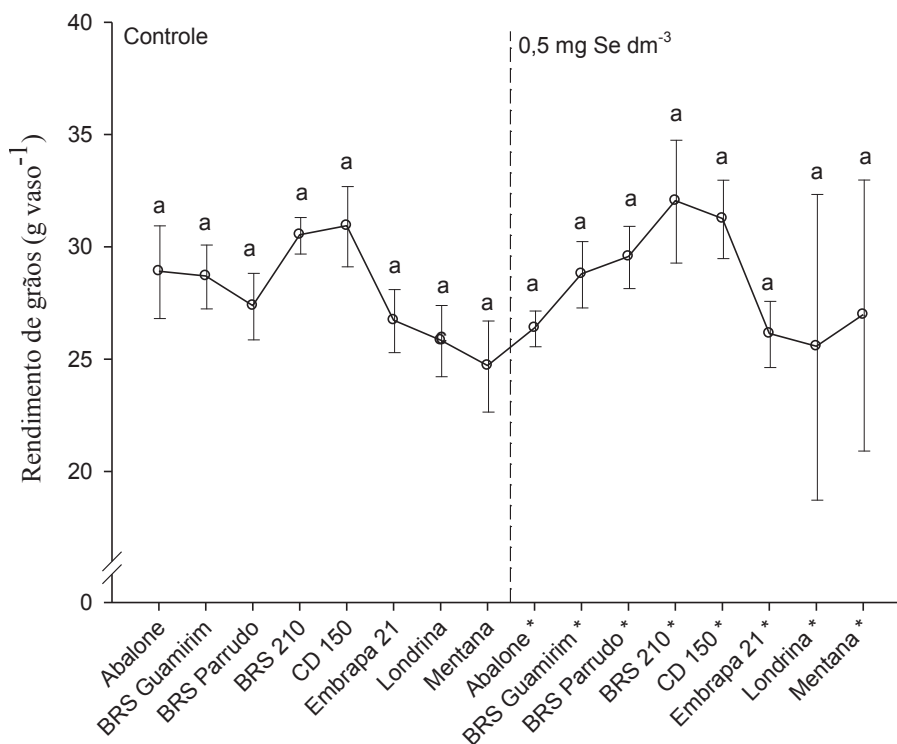


Figura 2. Rendimento de grãos de trigo em resposta a adubação com Se no solo.

Tabela 7. Produtividade de grãos, MSPA, afilamento e número de espigas, altura de plantas e comprimento de espiga de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

Cultivares	Produtividade	MSPA	Afilhos e	Alt. de	Compr.
	ade		espigas	plantas	de espiga
	g vaso ⁻¹	g kg ⁻¹	Nº	M	Cm
Controle (sem aplicação de Se)					
Abalone	28,91 a	29,77 abcde	19 abc	0,73 cdef	6,4 d
BRS Guamirim	28,70 a	22,29 de	21 a	0,62 fg	6,7 bcd
BRS Parrudo	27,38 a	27,96 bcde	11 d	0,71 defg	8,0 abcd
BRS 210	30,53 a	20,71 e	12 cd	0,66 efg	8,7 a
CD 150	30,94 a	21,58 de	15 abcd	0,63 fg	8,3 abc
Embrapa 21	26,73 a	35,61 ab	13 bcd	0,83 abc	8,4 ab
Londrina	25,84 a	30,59 abcd	17 abcd	0,77 bcde	8,0 abcd
Mentana	24,71 a	38,69 a	15 abcd	0,90 a	7,5 abcd
0,5 mg Se dm ⁻³					
Abalone	26,39 a	32,59 abc	20 ab	0,69 efg	6,6 cd
BRS Guamirim	28,80 a	23,60 cde	21 a	0,63 fg	6,9 bcd
BRS Parrudo	29,57 a	27,08 bcde	12 cd	0,71 defg	8,0 abcd
BRS 210	32,05 a	20,60 e	12 cd	0,66 efg	8,7 a
CD 150	31,26 a	21,12 de	15 abcd	0,61 g	8,0 abcd
Embrapa 21	26,14 a	32,87 abc	13 bcd	0,87 ab	7,8 abcd
Londrina	25,57 a	33,63 ab	14 abcd	0,84 abc	8,1 abcd
Mentana	26,98 a	34,57 ab	16 abcd	0,80 abcd	7,5 abcd
<i>DMS (Tukey 5%)</i>	8,33	9,71	7,03	0,11	1,72
<i>CV (%)</i>	9,77	11,32	14,69	5,10	7,34

DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas de letras iguais, na coluna, entre cultivares e doses de Se, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias de três repetições.

3.2 Estimativas do teor de clorofila (índice SPAD)

Para os resultados das leituras do teor de clorofila nas folhas do trigo, obtidos através do clorofilômetro portátil SPAD, também se observou pouca diferença significativa entre os cultivares e entre tratamentos (Tabela 9). O cultivar BRS 210 no tratamento com Se representou maior valor que os demais. Os valores do índice de clorofila são similares ao reportado por Argenta et al. (1999) e Argenta et al. (2001), para culturas de cereais como trigo e milho. Em geral, a concentração de nitrogênio nas folhas e as leituras do clorofilômetro mostraram tendências similares, em razão do papel do nitrogênio na síntese de clorofila, conforme reportado por Debaeke et al. (2006).

Tabela 8. Correlações entre produtividade de grãos, MSPA, número de afilhos e espiga, altura de plantas e comprimento de espigas de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

	Produtivida de	MSPA	Afilh. e nº espiga	Alt. de plantas	Comp. de espiga
Controle ⁽¹⁾					
Prod. de grãos	-				
MSPA	-0,88***	-			
Afilh. e nº espiga	0,02*	-0,10*	-		
Alt. de plantas	-0,86***	0,98***	-0,21*	-	
Comp. de espiga	0,11*	-0,10*	-0,82***	0,04*	-
0,5 mg Se dm ⁻³					
Prod. de grãos	-				
MSPA	-0,92**	-			
Afilh. e nº espiga	-0,27*	0,43*	-		
Alt. de plantas	-0,77**	0,69*	-0,35*	-	
Comp. de espiga	0,49*	-0,71*	-0,91***	0,12*	-

⁽¹⁾Tratamentos que apresentaram concentrações de Se abaixo do limite de quantificação (8,13 µg kg⁻¹). ***, **, *, ns, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Segundo Shadchina & Dmitrieva (1995), a determinação do índice de clorofila em folhas de trigo representou-se como parâmetro apropriado para avaliação da aquisição de nitrogênio pelas plantas. Debaeke et al. (2006), também relataram que as leituras SPAD foram bem sucedidas para indicar a nutrição nitrogenada, independentemente do cultivar de trigo. Em trabalho similar, Argenta et al. (2001), comparando a relação entre a leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível de folhas de milho, verificaram que as leituras realizadas com clorofilômetro estimaram adequadamente o grau de esverdeamento das plantas avaliadas.

Tabela 9. Produtividade, clorofila (índice SPAD), atividade das enzimas assimiladoras de nitrogênio (urease e nitrato redutase) de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

Cultivares	Produtivi	Clorofila	Atividade da enzima	Atividade da enzima
	dade	Índice SPAD	urease	nitrato redutase
	g vaso ⁻¹	µg cm ²	µmol N-NH ₄ ⁺ g MF ⁻¹ h ⁻¹	µmol N-NO ₂ ⁻ g MF ⁻¹ h ⁻¹
Controle (sem aplicação de Se)				
Abalone	28,91 a	33.35 ab	69 ab	0,13 abcd
BRS Guamirim	28,70 a	27.03 ab	60 abcd	0,19 a
BRS Parrudo	27,38 a	43.43 ab	66 ab	0,05 cd
BRS 210	30,53 a	33.87 ab	60 abcd	0,18 ab
CD 150	30,94 a	33.81 ab	66 ab	0,16 abc
Embrapa 21	26,73 a	32.74 ab	55 bcd	0,18 ab
Londrina	25,84 a	24.04 b	51 bcd	0,14 abcd
Mentana	24,71 a	23.65 b	63 abc	0,04 d
0,5 mg Se dm ⁻³				
Abalone	26,39 a	31.12 ab	76 a	0,07 bcd
BRS Guamirim	28,80 a	28.42 ab	64 ab	0,18 ab
BRS Parrudo	29,57 a	47.35 ab	66 ab	0,04 cd
BRS 210	32,05 a	49.90 a	62 abcd	0,17 ab
CD 150	31,26 a	35.11 ab	69 ab	0,21 a
Embrapa 21	26,14 a	30.60 ab	45 cd	0,10 abcd
Londrina	25,57 a	27.03 ab	44 d	0,21 a
Mentana	26,98 a	25.25 b	59 abcd	0,12 abcd
<i>DMS (Tukey 5%)</i>	8,33	24.25	18,24	0,11
<i>CV (%)</i>	9,77	44,72	14,66	41,41

DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas por letras iguais, na coluna, entre cultivares e doses de Se, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias de três repetições.

Embora o presente estudo não tenha enfoque no manejo do nitrogênio, as medidas realizadas pelo clorofilômetro SPAD mostrou ser útil para observar o resultado referente ao nitrogênio e produtividade de grãos, nos tratamentos com e sem adição de Se. Mesmo que ainda pouco conhecida, parece haver relação entre Se e N em plantas. Alguns autores sugerem que a interação entre Se e N pode melhorar o aspecto nutricional das plantas vasculares (Terry et al., 2000; Graham et al., 2007). Para o trigo, na Rússia foi observada interação entre Se e N no aumento da produtividade de trigo (Seregina et al. 2001). No presente estudo não foi possível relacionar os índices de clorofila com a produtividade de grãos. Os cultivares com maiores teores de clorofila não apresentaram maior rendimento de grãos.

3.3 Atividades de enzimas assimiladoras de nitrogênio (nitrato redutase e urease)

As atividades das enzimas nitrato redutase e urease resultaram em pouca variabilidade entre os cultivares e também entre os tratamentos (Tabela 9). Não houve tendência clara de estímulo ou inibição da atividade das enzimas urease e nitrato redutase em resposta a aplicação de selênio. Em alguns cultivares a atividade aumentou e em outras diminuiu, demonstrando a necessidade mais estudos para confirmar a relação entre Se e N. É importante destacar que a dose de Se aplicada não foi tóxica, pois não houve redução de produtividade.

É amplo o conhecimento que o metabolismo de nitrogênio é importante para formação de aminoácidos e proteínas, proporcionando maior rendimento produtivo as culturas. Pesquisas sobre eficiência do metabolismo de nitrogênio surgem da necessidade de entender o processo de aproveitamento e assimilação do nitrogênio, promovendo maior eficiência no uso desse nutriente. A relação entre N e Se se baseia na forma como o selênio é metabolizado nas plantas, substituindo o enxofre e formando selenoaminoácidos, dependendo assim diretamente do N para sua acumulação nas plantas.

Alguns estudos tem mostrado influência do Se na atividade de varias enzimas oxidoredutoras no processo metabólico do nitrogênio em trigo (Nowak et al., 2004), os quais reportaram a influência do Se em enzimas responsáveis pela assimilação do nitrogênio e enzimas antioxidantes. Segundo os autores, baixos níveis de Se, como $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$, aumentaram consideravelmente a atividade da catalase em folhas de trigo e plantas que se desenvolveram em doses mais elevadas apresentaram inibição da enzima. Todas as doses de Se estimularam a atividade da redutase no nitrato em plantas de trigo. Por outro lado, Nowak et al. (2002) verificaram que o Se aplicado ao solo inibiu a atividade das enzimas desidrogenase, urease e nitrato redutase e enzimas essas oxiredutoras no solo, em particular nas doses mais elevadas.

3.4 Concentração e acúmulo de Se em grãos

Os resultados das concentrações e acúmulo de Se em grãos de trigo encontram-se nas Figuras 3 e 4. Não foi possível estabelecer o nível de resposta dos cultivares a aplicação de Se, uma vez que, no tratamento controle (sem aplicação de Se), o teor de Se nos grãos foi inferior ao limite de quantificação ($8,1 \mu\text{g kg}^{-1}$). Todavia, os teores de Se nos grãos aumentaram da faixa de $\mu\text{g kg}^{-1}$ para mg kg^{-1} , evidenciando excelente resposta.

Houve resposta de todos os cultivares a aplicação de Se no solo. Entre os cultivares, observa-se discreta diferença no potencial de concentração e acúmulo de Se nos grãos (Figuras 3 e 4), com destaque para os cultivares BRS GUAMIRIM e MENTANA, ambos representando os maiores valores de concentração de Se ($2,8 \text{ mg kg}^{-1}$), seguidos de ABALONE e BRS PARRUDO ($2,6 \text{ mg kg}^{-1}$), LONDRINA ($2,5 \text{ mg kg}^{-1}$), CD 150 e EMBRAPA 21 ($2,1 \text{ mg kg}^{-1}$) e BRS 210 ($2,0 \text{ mg kg}^{-1}$). Para o acúmulo, novamente se destaca o cultivar BRS GUAMIRIM (80 mg vaso^{-1}), seguido dos cultivares MENTANA e BRS PARRUDO (77 mg vaso^{-1}), ABALONE (68 mg vaso^{-1}), CD 150 (66 mg vaso^{-1}), BRS 210 ($6,5 \text{ mg vaso}^{-1}$), LONDRINA (62 mg vaso^{-1}) e EMBRAPA 21 (56 mg vaso^{-1}).

Esses resultados demonstram inconsistência na variação genotípica quanto a concentração e acúmulo de Se em grãos de trigo. Era esperado maiores teores de Se nos cultivares LONDRINA e EMBRAPA 21, visto que em estudo de "screening" prévio (Domingues, 2015), estes apresentaram maiores teores naturais de Se em grãos. Por outro lado, os cultivares BRS GUAMIRIM e BRS PARRUDO tem se destacado com potencial para biofortificação em Fe e Zn (Scheeren et al., 2009). Trabalhos a campo e em casa de vegetação confirmam a eficiência do uso da adubação com Se no aumento da concentração de Se nos grãos de trigo e arroz de terras altas (Boldrin et al., 2012; Poblaciones et al., 2014). Os autores encontraram forte relação entre os níveis totais de Se acumulados nos grãos e as doses aplicadas. Em estudo semelhante, Inocêncio (2014) obteve aumento do teor de Se nos grãos pela aplicação de Se foliar associada a tratamentos com S. Souza et al. (2014), observaram efeitos de doses de Se associado a tratamentos de Zn em 20 cultivares de trigo, os quais demonstraram variação de 1,5 vezes na concentração de Se entre genótipos, com resposta ao Se em todos os acessos. Para o arroz, Chen et al. (2002) observou aumento de 9 vezes na concentração de Se nos grãos em relação ao tratamento controle, quando fornecido 20 g ha^{-1} de Se na forma de selenato de sódio.

Segundo Thavarajah et al. (2007), a prática da biofortificação agrônômica com Se em alimentos certamente é a estratégia mais econômica para aumentar o elemento na alimentação

humana. Os autores chamam a atenção para a suplementação pós-colheita, por meio de aditivos no processo de industrialização de alimentos, dos quais reporta serem antieconômicos, principalmente nos países em desenvolvimento, que mais sofrem com a desnutrição e deficiência de Se.

Pode-se evidenciar a efetiva contribuição da aplicação de Se no solo como estratégia para aumentar a concentração desse elemento em grãos de trigo, elevando a quantidade desse elemento nos alimentos a níveis adequados para o consumo humano. Considerando como crítica a concentração de Se de $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ para grãos de cereais (Moraes, 2008), observa-se que todos os cultivares avaliados nesse estudo, quando receberam aplicação de Se no solo, aumentaram seus teores para níveis muito acima do considerado deficiente.

Em geral, as pesquisas com aplicação de Se no solo objetivando aumentar as concentrações de Se em alimentos, tem recomendado quantidades equivalentes de 10 a 20 g ha^{-1} , nas formas de selenato e selenito (Smith & Watkinson, 1984; Chilimba et al., 2009). Estudos com cereais e oleaginosas, tem demonstrado que a dose crítica no solo capaz de causar toxidez é de aproximadamente $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (Ramos et al., 2011; Boldrin et al., 2012). No presente estudo a dose utilizada foi $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de Se, a qual não influenciou rendimento de grãos (Tabela 7 e Figura 2), mas também não pode ser considerada tóxica ou excessiva, pois foi aplicado apenas 25% da dose considerada tóxica. É importante o estudo dos limites máximos de adição de Se em plantas, sem causar redução ao desenvolvimento vegetal, como possível maneira de proporcionar maiores acúmulos pelas culturas, beneficiando produtos e subprodutos utilizados em toda cadeia alimentar humana e animal.

A eficiência de aproveitamento do Se pelos cultivares de trigo, em parte, pode ter sido devido a forma de Se aplicado (selenato), associada a característica do solo arenoso. Segundo Allaway et al. (1966) e Gissel-Nielsen & Bisbjerg, (1970), há maior eficiência de absorção de Se quando aplica-se selenato em solos de característica arenosa, com pH próximo da neutralidade (6,5), com eficiência de aproveitamento de até 15 % superior ao Se na forma de selenito.

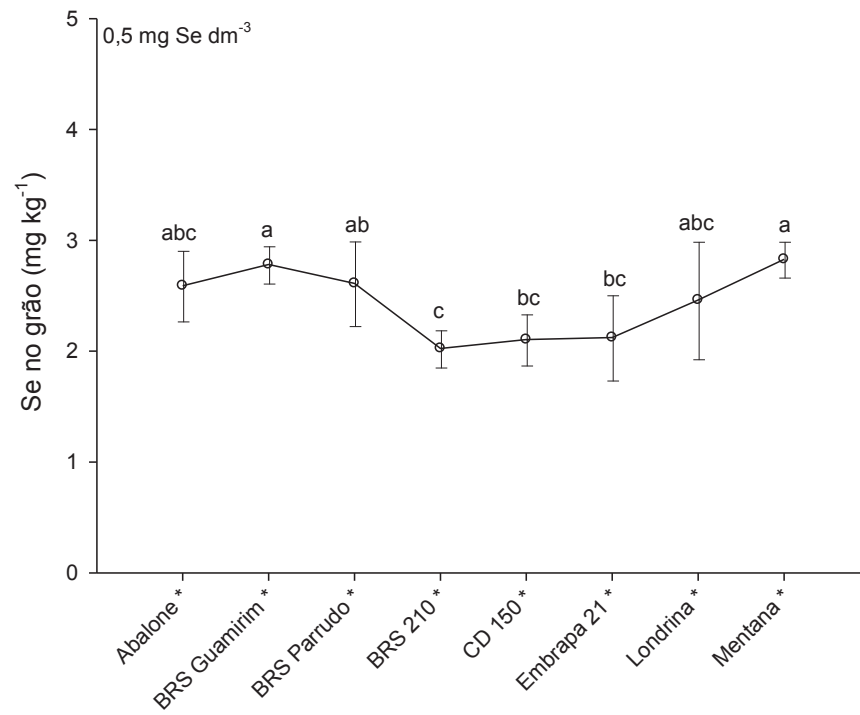


Figura 3. Concentração de Se em grãos de trigo em resposta a adubação com Se no solo.

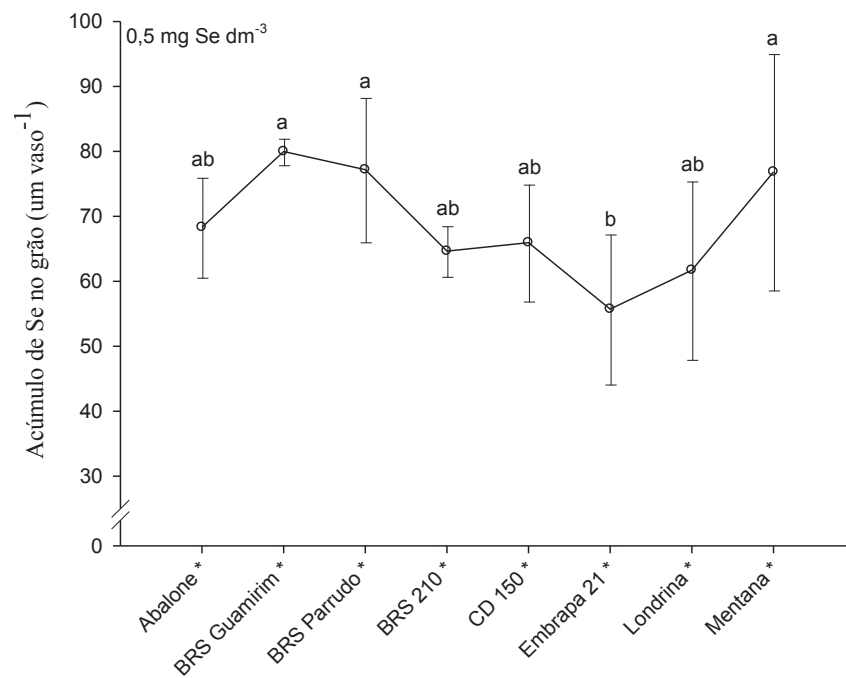


Figura 4. Acúmulo de Se em grãos de trigo em resposta a adubação com Se no solo.

3.5 Concentração e acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em grãos

No geral, observou-se baixa variabilidade nas concentrações e conteúdo de macronutrientes nos grãos entre variedades e entre tratamentos. As relações entre as concentrações de macronutrientes e produtividade foram baixas e pouco significativas, ao contrário do observado entre acúmulo e produtividade, as quais foram altamente significativas (Tabelas 10, 11, 12 e 13). As boas correlações entre produtividade e acúmulo provavelmente são devidas a simples influência da contribuição da massa total na quantidade de nutrientes alocadas nos grãos, ou seja, quanto maior a biomassa de grãos, maior será o acúmulo.

Na literatura é bem conhecida a interação entre elementos minerais, a qual tem influência direta no estado nutricional das plantas (Fageria, 2001). No entanto, alguns resultados de pesquisa com biofortificação agrônômica de Se em trigo tem demonstrado pouca ou nenhuma influência do Se na concentração de nutrientes nos grãos (Souza et al., 2014; Souza et al., 2013), não havendo consistentes variações com a aplicação de Se. Em alguns dos cultivares, houve efeito inverso, redução da concentração de P e Mg (Souza et al., 2014). Inocêncio (2014), também não observou influência do Se aplicado junto ao S nas concentrações de N, P, Ca e Mg em grãos de trigo.

Tabela 10. Produtividade e concentrações de N, P, K, Ca e Mg em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

Cultivares	Produtivida de	N	P	K	Ca	Mg
	g vaso ⁻¹	g kg ⁻¹				
Controle (sem aplicação de Se)						
Abalone	28,91 a	28,80 abc	7,53 abc	6,00 b	0,64 c	1,01 ab
BRS Guamirim	28,70 a	28,91 abc	8,13 abc	6,45 ab	0,74 bc	1,06 a
BRS Parrudo	27,38 a	27,41 abc	7,94 abc	6,83 ab	0,69 c	1,02 ab
BRS 210	30,53 a	28,26 abc	8,64 a	7,13 a	0,74 bc	1,06 a
CD 150	30,94 a	28,59 abc	8,15 abc	7,13 a	0,85 ab	1,04 ab
Embrapa 21	26,73 a	26,80 abc	8,45 ab	7,15 a	0,77 abc	1,05 ab
Londrina	25,84 a	31,61 a	8,09 abc	7,00 ab	0,90 a	1,04 ab
Mentana	24,71 a	26,40 bc	8,59 a	6,47 ab	0,84 ab	1,05 ab
0,5 mg Se dm ⁻³						
Abalone	26,39 a	27,49 abc	7,90 abc	6,18 ab	0,66 c	1,03 ab
BRS Guamirim	28,80 a	30,85 ab	8,20 abc	6,79 ab	0,72 bc	1,05 ab
BRS Parrudo	29,57 a	28,10 abc	8,20 abc	6,88 ab	0,63 c	1,02 ab
BRS 210	32,05 a	26,76 abc	7,65 abc	6,53 ab	0,65 c	1,01 ab
CD 150	31,26 a	28,21 abc	7,53 abc	6,61 ab	0,76 abc	1,00 ab
Embrapa 21	26,14 a	25,74 bc	7,25 bc	6,37 ab	0,71 bc	0,99 ab
Londrina	25,57 a	25,56 c	6,91 c	6,31 ab	0,75 bc	0,98 ab
Mentana	26,98 a	24,89 c	7,01 c	5,95 b	0,75 bc	0,97 b
DMS (Tukey 5%)	8,33	5,20	1,31	1,08	0,14	0,08
CV (%)	9,77	9,16	8,13	8,00	9,72	3,84

DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas de letras iguais, na coluna, entre cultivares e doses de Se, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 11. Correlações entre produtividade, concentrações de N, P, K, Ca, Mg e Se em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

	Prod.	N	P	K	Ca	Mg
Controle (sem aplicação de Se) ⁽¹⁾						
Prod.	-					
N	0,13*	-				
P	-0,16*	-0,40*	-			
K	0,16*	0,05*	0,57*	-		
Ca	-0,33*	0,31*	0,47*	0,51*	-	
Mg	0,02*	-0,10*	0,84***	0,44*	0,45*	-
0,5 mg Se dm ⁻³						
Prod.	-					
N	0,44*	-				
P	0,45*	0,85*	-			
K	0,60*	0,76**	0,72**	-		
Ca	-0,27*	-0,19*	-0,65*	-0,36*	-	
Mg	0,31*	0,90***	0,93***	0,63*	-0,52*	-
Se	-0,43*	0,20*	0,20*	-0,15*	0,06*	0,21*

⁽¹⁾ Tratamento com teor de Se abaixo do limite de quantificação (8,13 µg kg⁻¹). ***, **, *, ns, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 12. Produtividade e acúmulo de N, P, K, Ca e Mg em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

Cultivares	Produtivi dade	N	P	K	Ca	Mg
	g vaso ⁻¹	mg vaso ⁻¹				
Controle (sem aplicação de Se)						
Abalone	28,91 a	832 abc	218 abcd	174 bcde	18 bc	29 abcd
BRS Guamirim	28,70 a	828 abc	233 abc	185 abcde	21 abc	30 abcd
BRS Parrudo	27,38 a	750 abcd	217 abcd	186 abcde	19 bc	27 abcd
BRS 210	30,53 a	863 ab	264 a	217 ab	22 abc	32 a
CD 150	30,94 a	884 a	252 ab	220 a	26 a	32 ab
Embrapa 21	26,73 a	716 bcd	226 abcd	190 abcde	20 bc	28 abcd
Londrina	25,84 a	813abcd	208 bcd	180 abcde	23 ab	26 bcd
Mentana	24,71 a	652 d	212 bcd	159 e	20 bc	26 cd
0,5 mg Se dm ⁻³						
Abalone	26,39 a	725 abcd	208,67 bcd	163 de	17 c	27 abcd
BRS Guamirim	28,80 a	888 a	236,71 abc	195 abcde	20 bc	30 abcd
BRS Parrudo	29,57 a	830 abc	242,83 ab	203 abcd	18 bc	30 abcd
BRS 210	32,05 a	858 ab	246,17 ab	209 abc	21 bc	32 a
CD 150	31,26 a	881 ab	235,76 abc	206 abc	24 ab	31 abc
Embrapa 21	26,14 a	672 cd	189,63 cd	166 cde	18 bc	26 cd
Londrina	25,57 a	652 d	177,56 d	160 de	19 bc	25 d
Mentana	26,98 a	665 cd	187,62 cd	161 de	20 bc	26 cd
DMS (Tukey 5%)	8,33	167,77	51,24	43,74	5,43	5,58
CV (%)	9,77	10,50	11,28	11,48	12,74	9,43

DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas de letras iguais, na coluna, entre cultivares e doses de Se, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 13. Correlações entre produtividade, acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e Se em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

	Prod.	N	P	K	Ca	Mg
Controle (sem aplicação de Se) ⁽¹⁾						
Prod.	-					
N	0,86***	-				
P	0,85***	0,63*	-			
K	0,83***	0,71**	0,89***	-		
Ca	0,39*	0,50*	0,54*	0,66*	-	
Mg	0,98***	0,82***	0,93***	0,86***	0,46*	-
0,5 mg Se dm ⁻³						
Prod.	-					
N	0,88***	-				
P	0,89***	0,96***	-			
K	0,95***	0,94***	0,95***	-		
Ca	0,71**	0,62*	0,46*	0,64*	-	
Mg	0,97***	0,96***	0,97***	0,97***	0,62*	-
Se	0,21*	0,40*	0,40*	0,26*	0,09*	0,29*

⁽¹⁾ Tratamento com teor de Se abaixo do limite de quantificação (8,13 µg kg⁻¹). ***, **, *, ns, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

3.6 Concentração e acúmulo de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) em grãos

As concentrações e acúmulo de micronutrientes apresentaram pequenas variações entre os cultivares e tratamentos com e sem selênio (Tabelas 14 e 15). É possível que a pouca variação esteja relacionada ao efeito da concentração, uma vez que não foram observados variação de produtividade entre os cultivares e tratamento com Se.

Segundo Inocêncio et al. (2014), avaliando aplicação de Se via foliar associado a tratamentos com doses de S, não constatarem influência sobre as concentrações de Fe, Mn e Cu. Por outro lado, para Zn, houve incremento significativo com a aplicação de Se em relação ao tratamento controle. Souza et al. (2014), ao avaliarem a variação genotípica em 20 cultivares de trigo em resposta a fertilização com Zn, identificaram capacidade distinta entre os acessos em acumular Zn nos grãos, mostrando grande variação genética para essa característica. Quando o Se foi fornecido junto ao Zn, dos 20 cultivares, 9 permaneceram com as concentrações inalteradas e 5 reduziram as concentrações de Zn nos grãos. Porém, foi relatado acréscimo na concentração de Zn nos grãos em resposta a associação de Zn com Se em 5 cultivares. Foi observado aumento na concentração de Fe nos grãos em metade dos cultivares, quando Se associado a Zn.

Variações genotípicas na concentração de Zn têm sido amplamente relatadas em várias espécies cultivadas (Gur & Zamir, 2004; HarvestPlus, 2009). Variações de 2 vezes na concentração de Zn em grãos de trigo foram identificadas em linhagens distintas (Graham et al., 1999; Zhao et al., 2009), indicando a possibilidade do melhoramento genético com enfoque de elevar os níveis desse micronutriente a valores adequados para a alimentação (33 mg kg^{-1}), valor alvo estabelecido para trigo pelo programa HarvestPlus (HARVESTPLUS, 2009). Para culturas como arroz de terras altas, feijão e milho, foram observadas variações de 4, 2,5 e 8 vezes nas concentrações de Zn nos grãos, respectivamente (Maziya-Dixon et al., 2000; Welch & Graham, 2002). Em raízes de mandioca, a variação na concentração de Zn foi de até 4 vezes (Maziya-Dixon et al., 2000).

Segundo Souza et al. (2014), a suplementação de Se em conjunto com Zn, pode contribuir com incrementos dos teores de Se e Zn nos grãos. Em alguns dos cultivares avaliados observaram-se maior aumento de Zn nos grãos, os quais foram atribuídos a adição de Se. Assim, esses autores concluem que é possível selecionar cultivares com capacidade para aumentar simultaneamente as concentrações de Se e Zn nos grãos.

As interações entre micronutrientes e produtividade foram pouco significativas no presente estudo (Tabela 15). O Fe e Zn são micronutrientes de fundamental importância, cujas deficiências afetam grande parte da população, sendo importantes na biofortificação de alimentos (Welch & Graham, 2004). A relação entre Fe e Zn tem sido relatada de forma positiva ou negativa em diversos trabalhos. Por exemplo, Souza et al. (2014) evidenciaram relação inversa na concentração de Fe em grãos, quando fornecido Zn na solução nutritiva em alguns dos acessos testados. Por outro lado, houve cultivares cuja adição de Zn não levou a redução nas concentrações de Fe nos grãos. Paivoke (2003) encontrou interação negativa entre Fe e Zn quando esses dois elementos foram avaliados em ervilha. Para cultura do tomate, o aumento da disponibilidade de Zn estimulou as concentrações de Fe, evidenciando relação positiva entre Fe e Zn (Gunes, 1998). Tem sido comum relatos de interação significativa e positiva entre Fe e Zn em grãos de trigo (Zhang et al., 2010; Valu et al., 2011; Wei et al., 2012).

Tabela 14. Produtividade e concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu e B em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

Cultivares	Produtivi	Fe	Zn	Mn	Cu	B
	dade					
	g vaso ⁻¹	mg kg ⁻¹				
Controle (sem aplicação de Se)						
Abalone	28,91 a	87,16 ab	52,00 c	81,85 bcd	8,88 b	26,04 a
BRS Guamirim	28,70 a	98,53 a	71,44 a	88,69 abc	13,36 a	50,73 a
BRS Parrudo	27,38 a	99,35 a	62,58 abc	73,31 cd	10,90 ab	44,19 a
BRS 210	30,53 a	89,68 ab	60,35 abc	90,05 abc	10,83 ab	40,19 a
CD 150	30,94 a	87,28 ab	55,32 c	88,50 abc	10,77 ab	35,40 a
Embrapa 21	26,73 a	83,39 ab	59,17 abc	75,35 bcd	9,08 b	34,11 a
Londrina	25,84 a	88,86 ab	62,34 abc	79,09 bcd	10,20 ab	29,40 a
Mentana	24,71 a	82,61 ab	59,81 abc	82,31 bcd	11,23 ab	27,99 a
0,5 mg Se dm ⁻³						
Abalone	26,39 a	80,13 ab	62,55 abc	93,80 ab	10,56 ab	23,51 a
BRS Guamirim	28,80 a	84,49 ab	71,39 ab	102,42 a	11,82 ab	23,62 a
BRS Parrudo	29,57 a	94,08 ab	71,28 ab	89,40 abc	11,79 ab	22,20 a
BRS 210	32,05 a	90,82 ab	56,98 bc	80,38 bcd	11,78 ab	21,70 a
CD 150	31,26 a	76,55 ab	52,41 c	80,97 bcd	9,79 ab	22,87 a
Embrapa 21	26,14 a	64,42 b	52,81 c	77,92 bcd	9,24 ab	23,71 a
Londrina	25,57 a	90,45 ab	58,09 abc	67,07 d	10,59 ab	24,34 a
Mentana	26,98 a	80,22 ab	51,23 c	67,04 d	12,73 ab	27,25 a
DMS (Tukey 5%)	8,33	31,22	14,43	19,35	4,25	29,62
CV (%)	9,77	17,86	11,78	11,50	19,17	48,61

DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas de letras iguais, na coluna, entre cultivares e doses de Se, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 15. Correlações entre produtividade, concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu, B e Se em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

	Prod.	Fe	Zn	Mn	Cu	B
Controle (sem aplicação de Se) ⁽¹⁾						
Prod.	-					
Fe	0,25*	-				
Zn	-0,19*	0,65*	-			
Mn	0,65*	0,01*	0,10*	-		
Cu	0,09*	0,60*	0,82***	0,49*	-	
B	0,36*	0,83***	0,76**	0,23*	0,74**	-
0,5 mg Se dm ⁻³						
Prod.	1,00	-	-	-	-	-
Fe	0,33*	1,00	-	-	-	-
Zn	0,10*	0,56*	1,00	-	-	-
Mn	0,27*	0,10*	0,78**	1,00	-	-
Cu	0,21*	0,63*	0,33*	0,05*	1,00	-
B	-0,62*	-0,28*	-0,40*	-0,50*	0,30*	1,00
Se	-0,43*	0,28*	0,50*	0,23*	0,62*	0,58*

⁽¹⁾ Tratamento com teor de Se abaixo do limite de quantificação (8,13 µg kg⁻¹). ***, **, *, ns, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Tabela 16. Produtividade e acúmulo de Fe, Zn, Mn, Cu e B em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

Cultivares	Produtivid ade	Fe	Zn	Mn	Cu	B
	g vaso ⁻¹	mg vaso ⁻¹				
Controle (sem aplicação de Se)						
Abalone	28,91 a	2,52 ab	1,48 c	2,36 abc	0,25 b	2,14 a
BRS Guamirim	28,70 a	2,82 a	2,04 ab	2,54 ab	0,38 a	1,45 ab
BRS Parrudo	27,38 a	2,71 a	1,70 abc	2,00 bc	0,29 ab	1,21 ab
BRS 210	30,53 a	2,74 a	1,84 abc	2,75 a	0,33 ab	1,22 ab
CD 150	30,94 a	2,70 a	1,71 abc	2,74 a	0,33 ab	1,09 ab
Embrapa 21	26,73 a	2,22 ab	1,58 bc	2,01 bc	0,24 b	0,91 ab
Londrina	25,84 a	2,30 ab	1,61 bc	2,04 bc	0,26 ab	0,75 ab
Mentana	24,71 a	2,07 ab	1,47 c	2,03 bc	0,27 ab	0,69 b
0,5 mg Se dm ⁻³						
Abalone	26,39 a	2,11 ab	1,65 abc	2,47 ab	0,27 ab	0,61 b
BRS Guamirim	28,80 a	2,43 ab	2,06 ab	2,95 a	0,34 ab	0,68 b
BRS Parrudo	29,57 a	2,78 a	2,10 a	2,64 abc	0,34 ab	0,65 b
BRS 210	32,05 a	2,92 a	1,83 abc	2,58 abc	0,37 a	0,69 b
CD 150	31,26 a	2,37 ab	1,63 abc	2,53 abc	0,30 ab	0,71 b
Embrapa 21	26,14 a	1,68 b	1,38 c	2,03 bc	0,24 b	0,61 b
Londrina	25,57 a	2,25 ab	1,51 c	1,72 c	0,26 ab	0,66 b
Mentana	26,98 a	2,12 ab	1,36 c	1,76 c	0,33 ab	1,89 ab
DMS (Tukey 5%)	8,33	0,84	0,49	0,66	0,12	1,39
CV (%)	9,77	17,09	14,38	14,03	19,51	68,32

DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas de letras iguais, na coluna, entre cultivares e doses de Se, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 17. Correlações entre produtividade, acúmulo de Fe, Zn, Mn, Cu, B e Se em grãos de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

	Prod.	Fe	Zn	Mn	Cu	B
Controle (sem aplicação de Se) ⁽¹⁾						
Prod.	-					
Fe	0,82 ^{***}	-				
Zn	0,52 [*]	0,78 ^{**}	-			
Mn	0,91 ^{***}	0,71 ^{**}	0,58 [*]	-		
Cu	0,59 [*]	0,78 ^{**}	0,91 ^{***}	0,73 ^{**}	-	
B	0,53 [*]	0,52 [*]	0,11 [*]	0,38 [*]	0,13 [*]	-
0,5 mg Se dm ⁻³						
Prod.	-					
Fe	0,78 ^{**}	-				
Zn	0,56 [*]	0,76 ^{**}	-			
Mn	0,66 [*]	0,56 [*]	0,86 ^{***}	-		
Cu	0,48 [*]	0,04 [*]	-0,08 [*]	0,18 [*]	-	
B	-0,16 [*]	-0,17 [*]	-0,44 [*]	-0,49 [*]	-0,09 [*]	-
Se	0,21 [*]	0,42 [*]	0,58 [*]	0,43 [*]	-0,13 [*]	0,40 [*]

⁽¹⁾ Tratamento com teor de Se abaixo do limite de quantificação (8,13 µg kg⁻¹). ***, **, *, ns, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

3.7 Concentração de selênio (Se) em folha diagnóstico (folha bandeira)

Expressivo aumento das concentrações de Se na folha bandeira pode ser verificado com a aplicação da dose de $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de Se. Todos os cultivares demonstraram eficiência de aquisição do elemento fornecido na forma de selenato de sódio (Figura 5). Embora pouca variação entre os cultivares pode ser observada, os valores mostram grande concentração na folha diagnóstico. Os cultivares BRS GUAMIRIM e CD 150 foram os que apresentaram os maiores valores de concentração, $7,4$ e $5,3 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, seguido dos cultivares MENTANA ($4,7 \text{ mg kg}^{-1}$), BRS PARRUDO ($4,5 \text{ mg kg}^{-1}$), EMBRAPA 21 ($4,2 \text{ mg kg}^{-1}$), LONDRINA ($4,0 \text{ mg kg}^{-1}$), BRS 210 ($3,9 \text{ mg kg}^{-1}$) e ABALONE ($3,9 \text{ mg kg}^{-1}$).

A concentração de Se na folha diagnóstico foi maior que os valores encontrados nos grãos, em todas os cultivares. A maior capacidade de concentrar Se em folhas de trigo em relação a grãos, em resposta ao fornecimento de Se, tem sido evidenciado em alguns trabalhos com a cultura (Souza et al., 2014; Souza, 2013).

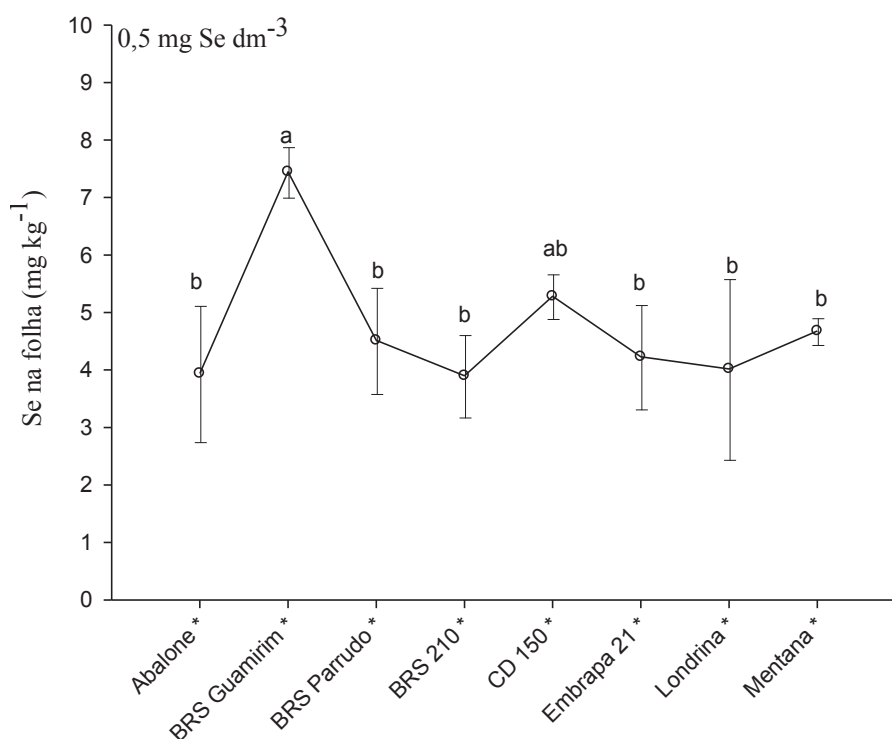


Figura 5. Concentração de Se em folha diagnóstico (folha bandeira) de trigo em resposta a adubação com Se no solo.

3.8 Concentração de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em folha diagnóstico (folha bandeira)

A aplicação de Se não alteraram as concentrações de N e Mg, permanecendo as mesmas em relação ao tratamento controle e pouca variação pode ser observada para os demais macronutrientes (P, K, Ca) (Tabela 18). Da mesma forma, houve baixa interação entre esses nutrientes e a produtividade (Tabela 19).

Variações nas concentrações de nutrientes em folha diagnóstico em relação as concentrações dos grãos tem sido pouco estudados. Em razão da regulação genética, parece não haver relação entre teores na folha diagnóstico e concentrações em grãos. Souza et al. (2014) observaram aumento na concentração de K em folha diagnóstico em resposta a aplicação de Zn e Se.

Tabela 18. Produtividade e concentrações de N, P, K, Ca e Mg em folha diagnóstico (folha bandeira) de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

Cultivares	Produtivida	N	P	K	Ca	Mg
	de					
	g vaso ⁻¹	g kg ⁻¹				
Controle (sem aplicação de Se)						
Abalone	28,91 a	22,22 a	5,55 a	14,41 abcd	7,15 ab	1,09 b
BRS Guamirim	28,70 a	22,54 a	4,71 abc	15,83 abc	6,63 ab	1,12 b
BRS Parrudo	27,38 a	24,30 a	4,70 abc	10,45 h	5,54 ab	1,06 b
BRS 210	30,53 a	22,86 a	4,81 abc	13,10 defg	7,33 ab	1,12 b
CD 150	30,94 a	23,69 a	4,20 bc	14,56 abcd	7,00 ab	1,09 b
Embrapa 21	26,73 a	22,94 a	5,23 ab	13,55 cdef	4,66 b	1,02 b
Londrina	25,84 a	21,91 a	4,10 c	12,68 defgh	7,34 ab	1,06 b
Mentana	24,71 a	25,06 a	4,81 abc	11,15 gh	6,55 ab	1,05 b
0,5 mg Se dm ⁻³						
Abalone	26,39 a	24,21 a	5,74 a	11,95 efgh	6,87 ab	1,14 b
BRS Guamirim	28,80 a	23,04 a	4,33 bc	16,62 a	6,87 ab	1,46 a
BRS Parrudo	29,57 a	22,75 a	4,82 abc	11,39 fgh	5,72 ab	1,07 b
BRS 210	32,05 a	25,20 a	4,89 abc	14,36 abcd	7,55 ab	1,02 b
CD 150	31,26 a	25,26 a	4,16 bc	16,03 ab	7,12 ab	1,14 b
Embrapa 21	26,14 a	22,38 a	5,01 abc	13,42 defg	6,11 ab	0,99 b
Londrina	25,57 a	21,93 a	4,85 abc	13,79 bcde	8,11 ab	1,00 b
Mentana	26,98 a	23,62 a	4,83 abc	13,26 defg	7,16 ab	0,99 b
DMS (Tukey 5%)	8,33	4,13	1,09	2,36	3,43	0,16
CV (%)	9,77	5,84	7,52	5,77	16,84	4,96

DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas de letras iguais, na coluna, entre cultivares e doses de Se, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 19. Correlações entre produtividade, concentrações de N, P, K, Ca, Mg e Se em folha diagnóstico (folha bandeira) de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

	Prod.	N	P	K	Ca	Mg
Controle (sem aplicação de Se) ⁽¹⁾						
Prod.	-					
N	-0,27*	-				
P	-0,02*	-0,08*	-			
K	0,57*	-0,63*	0,10*	-		
Ca	0,35*	-0,32*	-0,34*	0,27*	-	
Mg	0,74**	-0,31*	-0,11*	0,53*	0,69**	-
0,5 mg Se dm ⁻³						
Prod.	-					
N	0,72**	-				
P	-0,52*	-0,10*	-			
K	0,39*	0,28*	-0,77**	-		
Ca	-0,02**	0,21*	-0,09*	0,40*	-	
Mg	0,20*	0,06*	-0,38*	0,72*	-0,10*	-
Se	0,24*	-0,04*	-0,65*	0,72**	-0,13*	0,93***

⁽¹⁾ Tratamento que apresentou teor de Se abaixo do limite de quantificação (8,13 µg kg⁻¹). ***, **, *, ns, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

3.9 Concentrações de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B) em folha diagnóstico (folha bandeira)

As concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu e B em folha diagnóstico estão discriminados na Tabela 20. Observou-se pouca ou nenhuma variação entre cultivares em ambos os tratamentos quanto às concentrações de Fe, Zn e Cu. Por outro lado, para Mn e B, houve acréscimo das concentrações desses micronutrientes devido a aplicação de $0,5 \text{ dm}^{-3}$ de Se.

Neste estudo não foi constatado grande influência da aplicação de Se sobre os micronutrientes. Todavia, em geral, tem-se evidenciado incrementos nas concentrações de micronutrientes em folha diagnóstico de trigo com a aplicação de Zn e Se. Segundo Souza et al. (2014), houve aumento significativo nas concentrações de Fe, Zn, Mn e Cu em folha diagnóstico de trigo, em razão da suplementação de tratamentos com Zn associado ao Se.

Para o trigo, a folha bandeira é responsável pela maior parte do processo de sintetização e fixação do carbono para formação dos carboidratos nos grãos (Nie et al., 1995; Murchie et al., 2002). Tem sido relatado que o Zn e o Fe são remobilizados da folha diagnóstico para o desenvolvimento dos grãos, embora a concentração de Zn em folha diagnóstico não tem sido bom parâmetro para avaliar sua acumulação nos grãos (Herrer & Feller, 1996; Waters et al., 2009).

Chama-se atenção para comparação entre as concentrações de micronutrientes nos grãos e na folha diagnóstico. Nos grãos, observou-se menores concentrações de Fe e B em relação à folha diagnóstico. Em contrario, para Zn e Mn, os foram observadas maiores concentrações nos grãos. Ao contrário do relatado neste estudo, Souza et al. (2014), evidenciaram maiores concentrações de Zn em folha diagnóstico de trigo em relação aos grãos. O Cu não apresentou grandes diferenças.

Tabela 20. Produtividade e concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu e B em folha diagnóstico (folha bandeira) de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

Cultivares	Produtivi	Fe	Zn	Mn	Cu	B
	dade					
	g vaso ⁻¹	mg kg ⁻¹				
Controle (sem aplicação de Se)						
Abalone	28,91 a	102,10 a	27,00 ab	100,45 a	9,36 d	100,24 a
BRS Guamirim	28,70 a	105,01 a	28,88 ab	93,09 a	11,51 cd	91,72 ab
BRS Parrudo	27,38 a	105,76 a	27,68 ab	64,09 ab	11,42 cd	66,07 bcd
BRS 210	30,53 a	117,91 a	23,27 ab	91,29 a	11,61 cd	62,43 cd
CD 150	30,94 a	106,09 a	24,73 ab	91,24 a	15,64 abcd	60,78 cd
Embrapa 21	26,73 a	127,09 a	36,03 a	30,10 b	16,40 abcd	85,20 abc
Londrina	25,84 a	88,44 a	24,04 ab	83,96 a	10,50 d	62,81 cd
Mentana	24,71 a	101,89 a	24,37 ab	64,75 ab	13,61 bcd	55,62 d
0,5 mg Se dm ⁻³						
Abalone	26,39 a	107,82 a	24,87 ab	92,00 a	16,56 abcd	66,38 bcd
BRS Guamirim	28,80 a	140,81 a	28,08 ab	112,80 a	22,54 abc	57,06 d
BRS Parrudo	29,57 a	107,23 a	28,75 ab	94,20 a	12,40 cd	39,51 d
BRS 210	32,05 a	114,34 a	18,63 a	18,63 b	17,59 abcd	45,66 d
CD 150	31,26 a	100,61 a	25,21 ab	25,21 b	25,83 a	47,61 d
Embrapa 21	26,14 a	107,62 a	30,17 ab	30,17 b	24,97 ab	43,86 d
Londrina	25,57 a	102,49 a	28,81 ab	28,81 b	17,49 abcd	41,39 d
Mentana	26,98 a	102,71 a	26,77 ab	26,77 b	15,04 abcd	42,91 d
DMS (Tukey 5%)	8,33	58,89	15,39	53,11	11,51	27,55
CV (%)	9,77	17,91	19,03	26,79	24,10	15,02

DMS: diferença mínima significativa; Médias seguidas de letras iguais, na coluna, entre cultivares e doses de Se, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 21. Correlações entre produtividade, concentrações de Fe, Zn, Mn, Cu, B e Se em folha diagnóstico (folha bandeira) de cultivares de trigo adubadas com Se no solo.

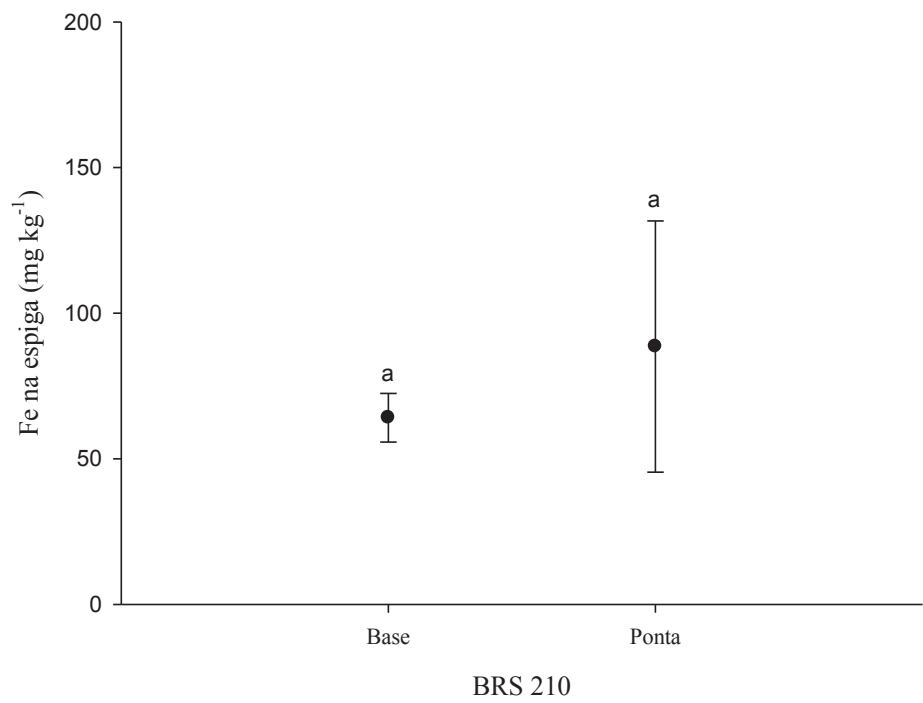
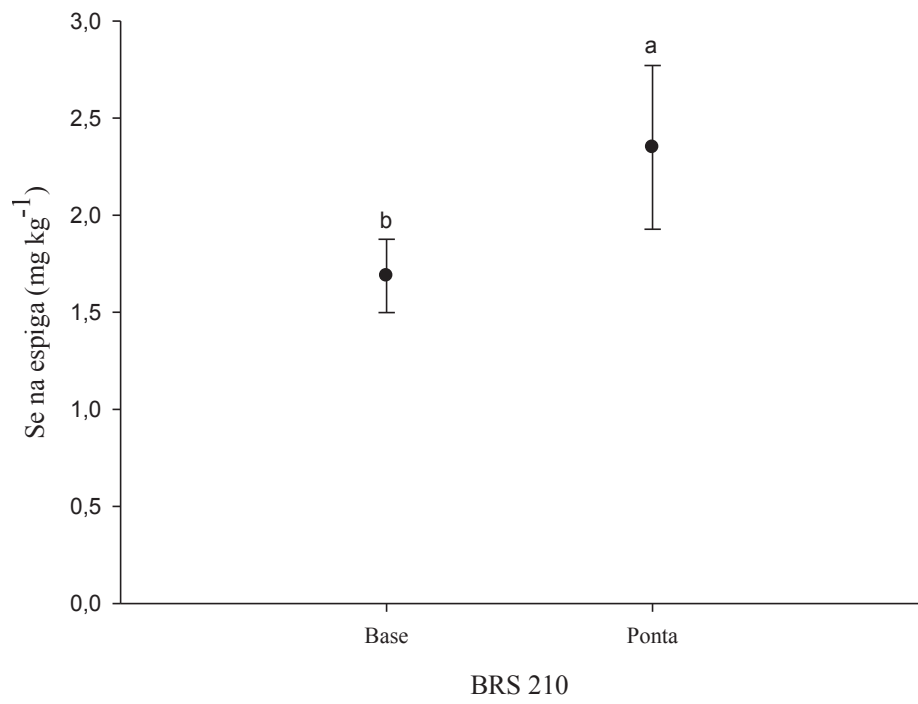
	Prod.	Fe	Zn	Mn	Cu	B
Controle (sem aplicação de Se) ⁽¹⁾						
Prod.	-					
Fe	0,29*	-				
Zn	-0,18*	0,62*	-			
Mn	0,18*	-0,10*	0,12*	-		
Cu	0,00*	0,58*	0,44*	-0,21*	-	
B	0,17*	0,19*	0,58*	0,45*	-0,26*	-
0,5 mg Se dm ⁻³						
Prod.	-					
Fe	0,18*	-				
Zn	-0,66*	-0,01*	-			
Mn	-0,08*	0,62*	0,29*	-		
Cu	0,11*	0,20*	0,12*	-0,22*	-	
B	-0,11*	0,42*	-0,20*	0,56*	0,16*	-
Se	0,24*	0,81***	0,24*	0,55*	0,46*	0,31*

⁽¹⁾ Tratamento com concentração de Se abaixo do limite de quantificação (8,13 µg kg⁻¹). ***, **, *, ns, significativo ao teste de correlação de Pearson a 1%, 5%, 10% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

3.10 Alocações de Se, Fe e Zn em espigas

A diferença entre cultivares quanto ao período de enchimento de grãos pode influenciar na concentração e no acúmulo dos elementos ao longo da espiga, podendo existir um gradiente de concentração a partir da base até a ponta da espiga (Baxter et al., 2014). Nas Figuras 6 e 7 estão relacionados à distribuição das concentrações de Se, Fe e Zn ao longo da espiga, distribuídos em base e ponta, para os cultivares BRS 210 e EMBRAPA 21. Observou-se distinta concentração nos grãos ao longo da espiga. O cultivar BRS 210 demonstrou diferença na concentração de Se ao longo da espiga, com maior teor no ápice. No entanto, para Fe e Zn não se observou essa diferença. Para o cultivar EMBRAPA 21, não se observou diferença no gradiente de concentração para Se ao longo da espiga, ao contrário para o Fe e Zn, os quais ambos foram identificados com maiores concentrações na ponta da espiga em relação à base.

Segundo Pongrac et al. (2011) e Lombi et al. (2009), os elementos minerais não são distribuídos uniformemente em grãos de cereais. Alguns elementos como Fe e Zn são concentrados no embrião, enquanto outros como Ca e S concentram-se mais nos tecidos maternos do pericarpo e do endosperma. Há diferenças na quantidade desses elementos nos compartimentos das sementes, os quais irão influenciar na composição orgânica da mesma, podendo alterar a composição e alocação elementar total dos minerais ao longo de toda espiga. Baxter et al. (2014) identificaram variações no gradiente de concentrações de grande quantidade de minerais a partir de base, meio e ponta de espigas de milho. Esses autores identificaram diferenças significativas na posição de elementos como Fe, Zn e S, com maiores concentrações a partir da ponta, seguido do meio e menor concentração na base. Os resultados da literatura são semelhante ao observado nesse estudo para Fe e Zn no cultivar EMBRAPA 21. No entanto, esses autores ressaltam que as localizações do ambiente foram responsáveis pela variação de Fe. É possível que o Se, análogo de S também possa tender o mesmo comportamento, alocando maiores concentrações na ponta da espiga de grãos de trigo.



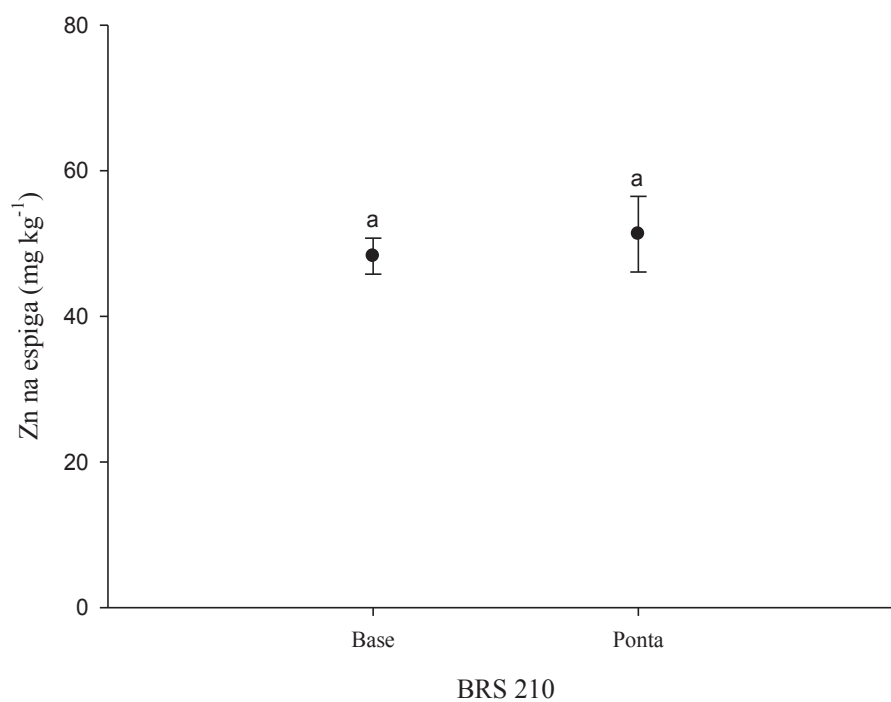
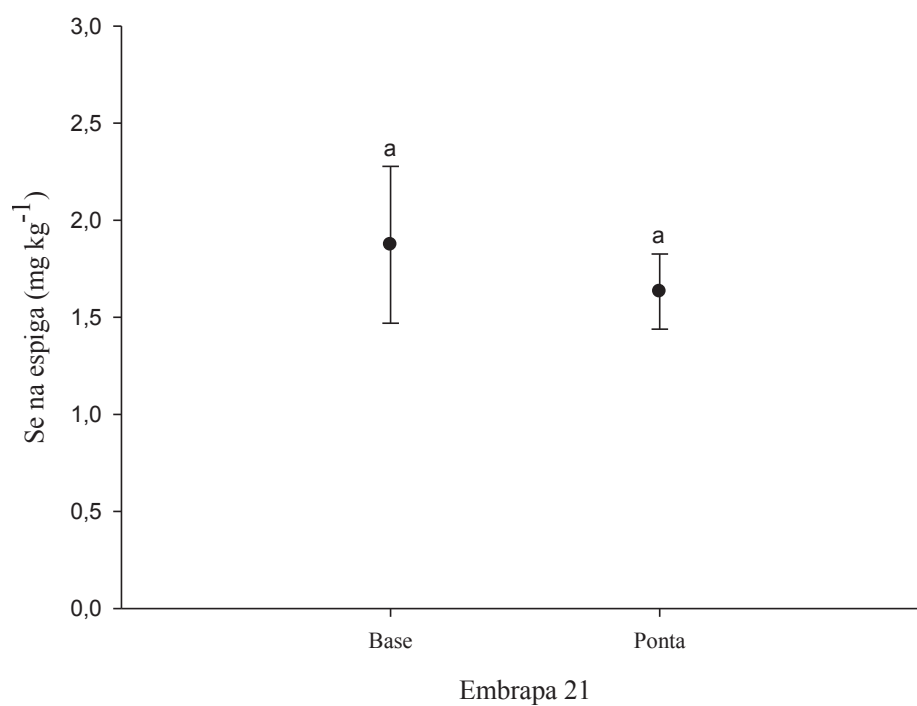


Figura 6. Gradiente de concentrações de Se, Fe e Zn na espiga de trigo, distribuídos em grãos da base e da ponta. Dose adicionada 0,5 mg de Se dm⁻³. Cultivar BRS 210.



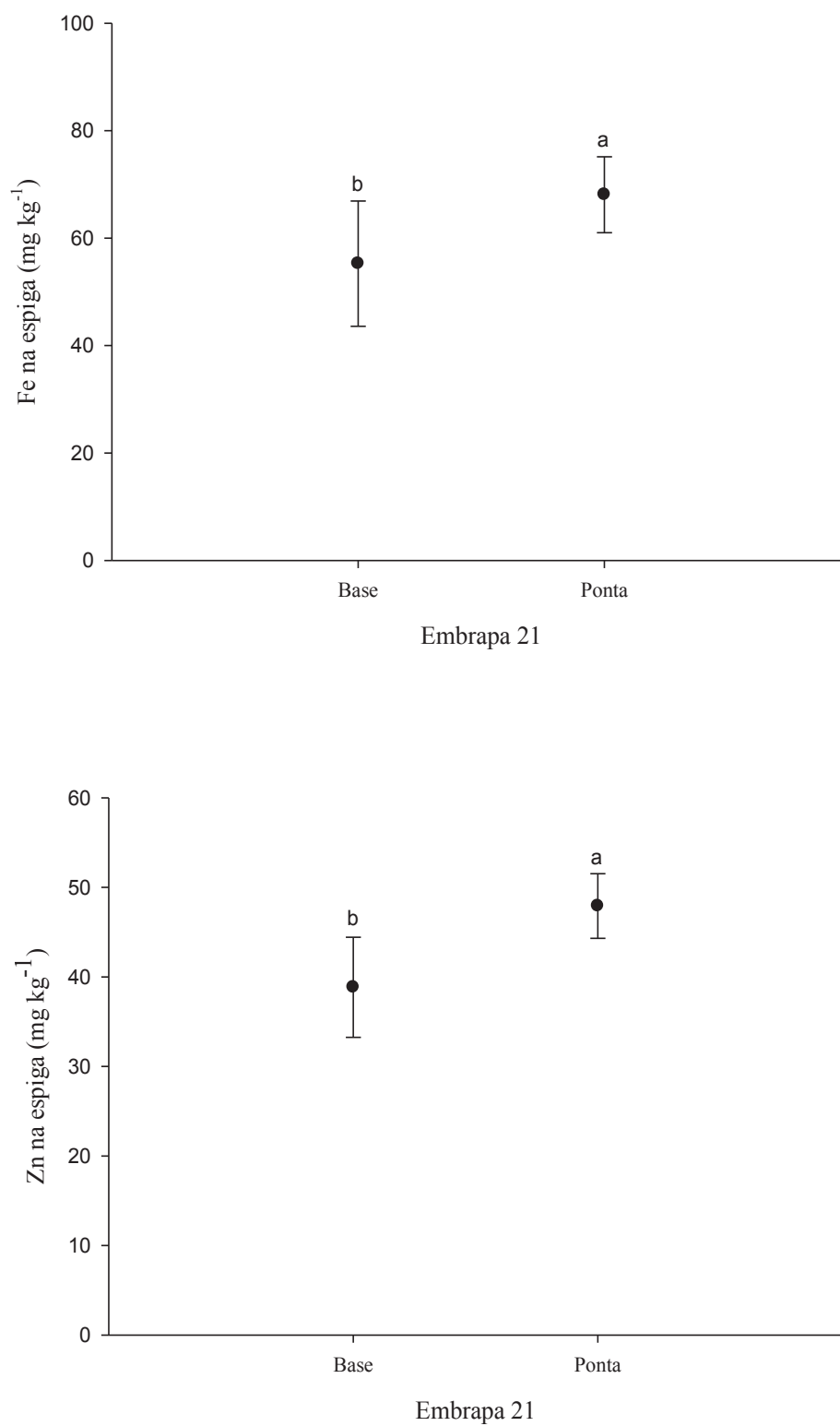


Figura 7. Gradiente de concentrações de Se, Fe e Zn na espiga de trigo, distribuídos em grãos da base e da ponta. Dose adicionada 0,5 mg de Se dm⁻³. Cultivar EMBRAPA 21.

3.11 Aplicações de Se como prática de adubação via solo para biofortificação do trigo

Em 2009, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) iniciou a implantação de políticas de incentivo a produção de trigo visando à autossuficiência do país nesse cereal, o qual o próprio ministério estima aumento anual de 1,3 % no consumo nacional (BRASIL, 2011). Segundo Sheeren et al. (2011), o Brasil consome em média 54 kg per *capita* ano⁻¹ de farinha de trigo no seus mais diversos derivados. Esse valor representa um consumo diário de cerca de 146 g por pessoa dia⁻¹, o qual é consumido na forma de pães, massas, biscoitos e outros. Se verificarmos que a ingestão mínima de Se recomendada é de 50 µg por pessoa dia⁻¹ (Gissel-Nielsen et al., 1984), os cultivares que apresentaram as maiores concentração naturais de Se (Domingues, 2015), como o cultivar LONDRINA (0,189 µg g⁻¹), pode fornecer até 27 µg por pessoa dia⁻¹ (Metade das exigências diárias).

A eficiência de utilização e acumulação de Se em grãos de trigo por meio do manejo da adubação no solo, mostra ser uma grande ferramenta para fornecer eficientemente quantidades adequadas de Se em cereais. A aplicação de Se nos cultivares na forma de selenato de sódio via solo, aumentou grandemente as concentrações nos grãos em até 2,8 µg g⁻¹, conforme observado para os cultivares BRS GUAMIRIM e MENTANA. O consumo de 146 g por pessoa dia⁻¹ da farinha de trigo desses cultivares levaria a ingestão de até 408 µg de Se por pessoa dia⁻¹, valor muito acima do adequado para atender a necessidade requerida pelo organismo humano. Esse valor atende de maneira segura, as quantidades requeridas de Se em varias regiões do país como estado de Santa Catarina (52-139 µg dia⁻¹) e cidade do Macapá (107 µg dia⁻¹), os quais apresentam maiores exigências de consumo diário de Se (Moraes et al., 2009).

4 CONCLUSÕES

A aplicação de Se aumenta amplamente os teores de Se em grãos de trigo e não há influência genotípica na acumulação de Se nas plantas de trigo;

Há relação inversa entre teor de Se nos grãos e produtividade;

A aplicação de Se tem pouca influência na concentração de nutrientes nas folhas e grãos de trigo.

REFERÊNCIAS

- ALLAWAY, W. H.; MOORE, D. P.; OLDFIELD, J. E.; MUTH, O. H. Movement of physiological levels of selenium from soils through plants to animals. *Journal of Nutrition*, v. 88, p. 411-418. 1966.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. *Ciência Rural*. Santa Maria, v. 31. n. 4, p. 715-722, 1999.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de milho. *Ver. Bras. De Fis. Vegetal*, Londrina, v. 13, p. 158-167, 2001.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolismo, oxidative stress, and signal transduction. *Annual review of plant biotechnology*, Paco alto, v. 55, p. 373-399, Sept. 2004
- BAXTER, I. R.; ZIEGLER, G. L.; BRETT, M.; MICHAEL, V.; FOLEY, R.; DANKU, J.; ARMSTRONG, P.; SALT, D. E.; HOEKENGA, O. A. Single-Kernel Ionomics Profiles Are Highly Heritable Indicators of Genetic and Environmental Influences on Elemental Accumulation in Maize Grain (*Zea mays*). *Plos One*. V. 9 1-10, 2014.
- BOLDRIN, P. F.; FAQUIM, V.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; CARVALHO, G. S.; COSTA, E. T. S. Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.6, p. 831-837, 2012.
- BOAVENTURA, G. T.; COZZOLINO, S. M. F. Selenium bioavailability in the regional urban diet of Mato Grosso, Brazil. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, v. 43, n. 4, p. 223-229. 1993.
- BROADLEY, M. R.; ALCOCK, J.; ALFORD, J.; CARTWRIGHT, P.; FOOT, I.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; HART, D. J.; HURST, R.; KNOTT, P.; McGRATH, S. P.; MEACHAM, M. C.; NORMAN, K.; MOWAT, H.; SCOTT, P.; STROUD, J. L.; TOVEY, M.; TUCKER, M.; WHITE, P. J.; YOUNG, S. D.; ZHAO, F. J. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilization. *Plant Soil* 332, 5–18, 2010.
- CALDERINI, D.F.; ORTIZ-MONASTERIO, I. Grain position affects grain macronutrient and micronutrient concentrations in wheat. *Crop Sci* 43:141-151, 2003.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2ed. Campinas: Instituto Agrônômico/FUNDAG, (Boletim Técnico, 100), p. 45-47, 1997.
- CARTES, P.; GIANFREDI, L.; MORA, M. L. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. *Plant soil*, v. 276, p. 359-367. 2005.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; McCLAFFERTY, B. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry*, v. 87, p. 10-20, 2010.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE – CBPTT. Informações Técnicas para Trigo e Triticale Safra 2013. In: VI Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. 215p, 2013.

CHEN, L.; YANG, F.; XU, J.; HU, Y.; HU, Q.; ZHANG, Y.; PAN, G. Determination of selenium concentration of rice in China and effect of fertilization of selenite and selenate on selenium content of rice, *J. Agric. Food Chem.* 50, 5128–5130, 2002.

CHILIMBA, A. D. C.; BLACK, C. R.; LAMMEL, J.; MEACHAM, M. C.; YOUNG, S. D.; BROADLEY, M. R. Agronomic biofortification of maize (*Zea mays* L.) with selenium in Malawi. In: *SELENIUM DEFICIENCY TOXICITY AND BIOFORTIFICATION FOR HUMAN HEALTH*, 2009, Suzhou, China. p.77-78. 2009.

DEBAEKE, P.; ROUET, P.; JUSTES, E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 29, p. 75-92, 2006.

DOMINGUES, C. R. S. Variação genotípica na concentração e acúmulo natural de selênio nos grãos de trigo. In: *Biofortificação agrônômica e eficiência de utilização de selênio por cultivares de trigo*. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná – UFPR. P. 115, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p, 2006.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants, *Journal. Plant Nutrition*. 24 (2001) 1269–1290.

FAN, M. S.; ZHAO, F. J.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; POULTON, P. R.; DUNHAM, S. J.; MCGRATH, S. P. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 22:315-324, 2008.

FEIL, B. The inverse yield–protein relationship in cereals: possibilities and limitations for Genetically improving the grain protein yield. *Trends Agron*, 1:103-119, 1997.

FERREIRA, K. S.; GOMES, J. C.; BELLATO, C. R.; JORDÃO, C. P. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 11, n. 3, p. 172-177, 2002.

FICHTNER, S. S.; PAULA, A. N.; JARDIN, E. C.; SILVA, E. C.; LOPES, H. O. S. Estudo da composição mineral de solos, forragem e tecido animal de bovinos do município de Rio Verde, Goiás, IV – cobre, molibdênio, selênio. *Anais das Escolas de Agronomia e Veterinária, Goiânia*, v. 20, n. 1, p. 1-6, 1990.

GARVIN, D. F.; WELCH, M. R.; FINLEY, W. J. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. *Journal of the Science of Food and Agriculture J Science Food Agricultural*. 86:2213–2220, 2006.

GISSEL-NIELSEN, G.; BISBJERG, B. The uptake of applied selenium by agricultural plants. *Plant Soil*, v. 32, p. 382. 1970.

GISSEL-NIELSEN, G.; GUPTA, U.C.; LAMAND, M.; WESTERMARCK, T. Selenium in soils and plants and its importance in livestock and human nutrition. *Advances in Agronomy*, v.37, p.397-460, 1984.

GISSEL-NIELSEN, G. Selenium. In: *Encyclopedia of Soil Science*. Ed. LAL, R. Pp. 1476. DEKKER, M. Inc. School of Natural Resources, USA. 2002.

GUNES, A.; ALPASLAN, M. INAL, A. Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown young tomato plants, *Journal of Plant Nutrition* 21 2035–2047, 1998.

GUR, A.; ZAMIR, D. Unused natural variation can lift yieldbarriers in plant breeding. *Plos. Biology*, 2:1610-1615, 2004.

GRAHAM, R. D.; SENADHIRA, S.; BEEBE, C. Iglesias, I. Monasterio, Breeding for micronutriente density in edible portions of staple food crops: conventional approaches, *Field Crops Researcher*. 60, 57–80, 1999.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C. A.; BEEBE, S. E.; POTTS, M. J.; KADIAN, M.; HOBBS, P. R.; GUPTA, R. K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. *Advances in Agronomy*, 92: 1-74, 2007.

HARVESTPLUS. Breeding crops for better nutrition. Washington: CGIAR, 2009. 4p. In: <http://www.harvestplus.org> (acessado em 06 de fevereiro de 2015).

HARTIKAINEN, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *J. Trace Elem. Medical Biology* 18, 309–318, 2005.

HARVESTPLUS. Breeding crops for better nutrition. Washington: CGIAR, p.4, 2009. In: <http://www.harvestplus.org> (acessado em 6 de fevereiro de 2015).

HERREN, T.; FELLER, U. Effect of locally increased zinc contents on zinc transport from the flag leaf lamina to the maturing grains of wheat, *Journal of Plant Nutrition*. 19 379–387, 1996.

HOGAN, M. E.; SWIFT, I. E.; DONE, J. Urease assay and ammonia release from leaf tissues. *Phytochemistry*, 22(3): 663-667, 1983.

INOCENCIO, M. F. Frações de zinco no solo e biofortificação agrônômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo. Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. LAVRAS – MG. p.1-71, 2014.

INSTITUTE FOR REFERENCE MATERIALS AND MEASUREMENTS – IRMM. European Commission – Joint Research Centre, p. 3, 2007.

JOHNSON, L. Selenium uptake by plants as a function of soil type, organic matter content and pH. *Plant Soil*, v. 133, p. 313-314. 1991.

LOMBI, E.; SCHECKEL, K. G.; PALLON, J.; CAREY, A. M.; ZHU, Y. G. Speciation and distribution of arsenic and localization of nutrients in rice grains. *The New phytologist* 184: p.193–201, 2009.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, p.251, 1980.

MARTINEZ, R. A. S.; REZENDE, A. A. A.; ANDRADE, M. J. B.; PASSOS, A. M. A. Doses e formas de aplicação de selênio na cultura da soja. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.33, n.3. 2009.

MAZIYA-DIXON, B.; KLING, J. G.; MENKIR, A.; DIXON, A. Genetic variation in total carotene, iron, and zinc contents of maize and cassava genotypes, *Food Nutrition. Bull.* 21 419–422, 2000.

McCULLOUGH, H. Determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta*, 17(2): p. 297-304, 1967.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A - Mineropar. Atlas Geológico do Estado do Paraná. Curitiba, Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e Turismo, CD-ROM, 125p, 2001.

MINOLTA CAMERA. Manual for chlorophyll meter SPAD – 502. Osak. 22p. 1989.

MORA, M. L.; PINILLA, L.; ROSAS, A.; CARTES, P. Selenium uptake and its influence on the antioxidative system of White clover as affected by lime and phosphorus fertilization. *Plant and Soil*, v. 303, p. 139-149. 2008.

MORAES, M. F. Selênio em solos, planta e fertilizantes. In: II ENCONTRO SOBRE SELÊNIO E TELÚRIO – BRASIL, Campos do Jordão – SP. Livro de resumos do II Encontro sobre Selênio e Telúrio. Brasil. 118 p. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 19, 2008.

MULDER, E. G.; BOXMA, R.; VEEN, W. L. V. The effect of molybdenum and nitrogen deficiencies on nitrate reduction in plant tissues. *Plant and Soil*, v. 10, p. 335-355, 1959.

MURCHIE, E. H.; YANG, J.; HUBBART, S.; HORTON, P.; PENG, S. Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? *J. Exp. Bot.* 53, 2217–2224, 2002.

NEAL, R. H. Selenium. Em: *Heavy Metals in Soil*. p. 237-260. B. J. Alloway, ed. Blackie & John Wiley & Sons, Inc., Glasgow. 238 p. 1993.

NIE, G. D. L.; HENDRIX, A. N.; WEBBER, B. A.; KIMBALLI, S. P. Long, Increased accumulation of carbohydrates and decreased photosynthetic gene transcript levels in wheat grown at an elevated CO₂ concentration in the field, *Plant Physiology*. 108 975–983, 1995.

NOWAK, J.; KAKLEWSKI, K.; KTO`DKA, D. Influence of various concentrations of selenic acid (IV) on the activity of soil enzymes. *The Science of the Total Environment* 291, 105–110. 2002.

NOWAK, L.; KAKLEWSKI, K.; LIGOCKI, M. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. *Soil Biology & Biochemistry*, v.36, p.1553-1558, 2004.

OZTURK, L.; YAZICI, M. A.; YUCEL, C.; TORUN, A.; CEKIC, C.; BAGCI, A.; OZKAN, H.; BRAUN, H. J.; SAYERS, Z.; CAKMAK, I. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiology Plant*, v. 128, p. 144-152, 2006.

PAIVA NETO, J. E.; GARGANTINI, H. Dosagem de selênio no solo. *Bragantia*, v. 15, n. 1, p. 13-16, 1956.

PAIVOKA, A. E. A. Mineral elements and phytase activity in *Pisum sativum* grown at different Zn supply levels in the greenhouse, *Environment Experimental Botany* 49, 285–294, 2003.

POBLACIONES, M. J.; RODRIGO, S.; SANTAMARÍA, O.; CHEN, Y.; McGRATH, S. P. Agronomic selenium biofortification in *Triticum durum* under Mediterranean conditions: from grain to cooked pasta, *Food Chemistry*. 146, 378–384, 2014.

PONGRAC, P.; VOGEL-MIKUS, K.; REGVAR, M.; VAVPETIC, P.; PELICON, P. Improved lateral discrimination in screening the elemental composition of buckwheat grain by micro-PIXE. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 1275–1280, 2011.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; GUILHERME, L. R. G.; MORAES, M. F.; CASTRO, E. M.; ÁVILA, F. W.; BOLDRIN, P. F. Agronomic biofortification with selenium: effects on accumulation of selenium and common bean yield grown in tropical soil. In: 2nd International Conference on Selenium in the Environment and Human Health, 2011, Suzhou. *Selenium: global perspectives of impacts on humans, animals and the environment*. Hefei: University of Science and Technology of China Press, p. 97-98, 2011.

SEREGINA, I. I.; NILOVSKAYA, N. T.; OSTAPENKO, N. O. The role of selenium in the formation of the grain yield in spring wheat. *Agrokimiya*. 1, 44–50, 2001.

SCHEEREN, P. L.; CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R.; CAIERÃO, E.; BASSOI, M. C.; ALBRECHT, J. C.; CASTRO, R. L.; MIRANDA, M. Z.; TORRES, G. A. M.; SALETE, C. BIOFORTIFICAÇÃO EM TRIGO NO BRASIL. IV Reunião de Biofortificação. 2011.

SOUZA, A. G.; CARVALHO, J.; RUTZKE, M. A.; ALBRECHT, J. C.; GUILHERME, L. R. G. Evaluation of germplasm effect on Fe, Zn and Se content in wheat seedlings. *Plant Science*, v. 2010, p. 206-213, 2013.

SOUZA, A. G.; JONATHAN, HARTA, J.; CARVALHO, J. G.; RUTZKE, M. A.; ALBRECHT, J. C.; GUILHERME, L. R. G.; KOCHIAN, L. V.; Li, L. Genotypic variation of zinc and selenium concentration in grains of Brazilian wheat lines. *Plant Science* 224, 27-35, 2014.

SCHEEREN, P.L.; CARVALHO, J.L.V.; CAIERÃO, E.; BASSOI, M.C.; FRONZA, V.; ALBRECHT, J.C.; JÚNIOR, W.Q.R.; MIRANDA, M.Z.; TORRES, G.A.M.; TIBOLA, C.S.; BONOW, S. Biofortificação de trigo no Brasil. In: III Reunião Anual de Biofortificação no Brasil, 3. 2009, Aracaju. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, (CD-ROM), 2009.

SHADCHINA, T. M.; DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 18, p. 1427-1437, 1995.

SMITH, G. S.; WATKINSON, J. H. Selenium toxicity in perennial ryegrass and white clover. *New Phytol*, v. 97, p. 557-564. 1984.

TERRY, N.; ZAYED, A. M.; SOUZA, M. P.; TARUM, A. S. Selenium in higher plants, *Annual Review in Plant Physiology and Molecular Biology*, v.51, p.401-432, 2000.

THAVARAJAH, D.; VANDENBERG, A.; GEORGE, G. N.; PICKERING, I. J. Chemical form of selenium in naturally selenium-rich lentils (*Lens culinaris* L.). From saskatchewan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 55, p. 7337-7341, 2007.

USEPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Method 3051A – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Washington, DC, Revision 1, February 2007. 30p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2014.

VELU G.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; SINGH, R. P.; PAYNE, T. Variation for grain micronutrient concentration in wheat core-collection accessions of diverse origin, *Asian Journal Crop Science*. 3, 43–48, 2011.

WATERS, B. M.; UAUY, C.; DUBCOVSKY, J.; GRUSAK, M. A. Wheat (*Triticum aestivum*) NAM proteins regulate the translocation of iron, zinc, and nitrogen compounds from vegetative tissues to grain, *Journal of Experimental Botany*. v. 60 4263–4274, 2009.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. *Crit Revista Plant Science*. v.14, p.49–82, 1995.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science*, v. 10, p. 586-593, 2005.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding crops for enhanced micronutrient content, *Plant and Soil*. 245 205–214, 2002.

WEI, Y.; SHOHAG, M. J. I.; YANG, X.; YIBIN, Z. Effects of foliar iron application on iron concentration in polished rice grain and its bioavailability, *Journal Agricultural Food Chemistry*. 60, 11433–11439, 2012.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective, *Journal Experimental Botany*. 55, 353–364, 2004.

WELCH, R. M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: Alloway, B. J. (Ed.). *Micronutrient deficiencies in global crop production*. New York: Springer, p. 287–309, 2008.

HEWITT, E. J. & SMITH, T. A. *Plant mineral nutrition*. Londres, The English Universities Press, P. 298, 1975.

YLARANTA, T. Effect of selenite and selenate fertilization and foliar spraying on selenium content of timothy grass. *Ann. Agric. Fenniae* 23:96-108, 1984.

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; TORUN, B.; GULTEKIN, I.; KARANLIK, S.; BAGCI, S. A.; CAKMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *Journal of Plant Nutrition*, v. 20, p. 461-471, 2007.

ZHANG, Y.; SHI, R.; REZAUL, K.; ZHANG, F.; ZOU, C. Iron and zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application, *Journal Agricultural Food Chemistry* 58, 12268–12274, 2010.

ZHAO, F. J.; SU, Y. H.; DUNHAM, S. J.; RAKSZEGI, M.; BEDO, Z.; McGRATH, S. P.; SHEWRY, P. R. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin, *Journal Cereal Science*. 49, 290–295, 2009.

ZHAO, F. J.; SHEWRY, R. P. Recent developments in modifying crops and agronomic practice to improve human health. *Food Policy* 36, S94-S101, 2011.

LISTA FINAL DE REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR SELENIUM. GEÓRGIA: 2003. Disponível em: <www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp92-p.pdf>. Acesso em: 01/02/2015.

ALLAWAY, W. H.; MOORE, D. P.; OLDFIELD, J. E.; MUTH, O. H. Movement of physiological levels of selenium from soils through plants to animals. *Journal of Nutrition*, v. 88, p. 411-418. 1966.

ALFTHAN, G.; NEVE, J. Selenium intakes and plasma selenium levels in various populations. In *Natural Antioxidants and Food Quality in Atherosclerosis and Cancer Prevention*. Eds. J Kumpulainen and J Salonen. p. 161–167. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1996.

ALLEN, L.; BENOIST, B.; DARY, O.; HURRELL, R. Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneva: WHO/FAO, p.341, 2006.

ALDOSARY, B. M. et al. Case series of selenium toxicity from a nutritional supplement. *Clinical Toxicology*, New York, v.50, n.1, p.57-64, 2012.

ANNO, R.M. Trabalho de conclusão do Curso de Graduação em Zootecnia. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, USP, Pirassununga, p.30, 2001.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual review of plant biotechnology*, Paco alto, v. 55, p. 373-399, Sept. 2004

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. *Ciência Rural*. Santa Maria, v. 31. n. 4, p. 715-722, 1999.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de milho. *Ver. Bras. De Fis. Vegetal*, Londrina, v. 13, p. 158-167, 2001.

ASHER, C. J.; BUTLER, G. W.; PETERSON, P. J. Selenium transport to roots system of tomato. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.28, n.2, p.279-291, 1977.

BARRETT, J.; PATTERSON, C.; REILLY, C.; TINGGI, U. Selenium in the diet of children with phenylketonuria. In *Nutrient Availability: Chemical and Biological Aspects*. Eds. D A T Southgate, I T Johnson and G R Fenwick. p. 281–283. Royal Society of Chemistry, London, 1989.

BARRINGTON, J. W. et al. Selenium and recurrent miscarriage. *Journal of Obstetrics and Gynaecology*, London, v.17, n.2, p.199-200, 1997.

BALINT, A. F.; KOVACS, G.; ERDEI, L.; SUTKA, J. Comparison of the Cu, Zn, Fe, Ca and Mg contents of the grains of wild, ancient and cultivated wheat species. *Cereal Res. Comm.* 29(3-4), p.375-382, 2001.

BAXTER, I. R.; ZIEGLER, G. L.; BRETT, M.; MICHAEL, V.; FOLEY, R.; DANKU, J.; ARMSTRONG, P.; SALT, D. E.; HOEKENGA, O. A. Single-Kernel Ionomics Profiles Are Highly Heritable Indicators of Genetic and Environmental Influences on Elemental Accumulation in Maize Grain (*Zea mays*). *Plos One*. V. 9 1-10, 2014.

BECK, M. A. NELSON, H. K.; SHIO Q.; VAN DAEL, P.; SCHIFFRIN, E. J.; BLUM, S.; BARCLAY, D.; LEVANDER, O. A. Selenium deficiency increases the pathology of an influenza virus infection. *Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, Bethesda, v.15, n.8, p.1481-1483, 2001.

BECK, M. A.; LEVANDER, O. A.; HANDY, J. Selenium deficiency and viral infection. *Journal of Nutritional*, Bethesda, v.133, n.5, p.1463-1467, 2003.

BENDICH, A. Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids. *Journal of Nutrition*, Philadelphia, v.17, n.4, p.364-365, 2001.

BOAVENTURA, G. T.; COZZOLINO, S. M. F. Selenium bioavailability in the regional urban diet of Mato Grosso, Brazil. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, v. 43, n. 4, p. 223-229. 1993.

BOLDRIN, P. F.; FAQUIM, V.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; CARVALHO, G. S.; COSTA, E. T. S. Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.6, p. 831-837, 2012.

BRASÍLIA. MEMÓRIA DA REUNIÃO NACIONAL PARA CONSOLIDAÇÃO DO PROJETO DE REGULAMENTO TÉCNICO DO TRIGO, Brasília-DF, 2010.

BROADLEY, M. R.; ALCOCK, J.; ALFORD, J.; CARTWRIGHT, P.; FOOT, I.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; HART, D. J.; HURST, R.; KNOTT, P.; McGRATH, S. P.; MEACHAM, M. C.; NORMAN, K.; MOWAT, H.; SCOTT, P.; STROUD, J. L.; TOVEY, M.; TUCKER, M.; WHITE, P. J.; YOUNG, S. D.; ZHAO, F. J. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilization. *Plant Soil* 332, 5-18, 2010.

CALDERINI, D.F.; ORTIZ-MONASTERIO, I. Grain position affects grain macronutrient and micronutrient concentrations in wheat. *Crop Sci* 43:141-151, 2003.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2ed. Campinas: Instituto Agrônomo/FUNDAG, (Boletim Técnico, 100), p. 45-47, 1997.

CARY, E. E.; ALLAEAY, W. H. The stability of different forms of selenium applied to low-selenium soils. *Soil Science Society of America Pro* 33, 571, 1969.

CARY, E. E.; GILSSEL-NIELSEN, G. Effect of fertiliser anions on the solubility of native and applied selenium in soil. *Soil Science Society of America Pro* 37, 590, 1973.

CARVER, B. F.; KLATT, A.; KRENZER, E. G. US hard red winter wheat pool, in *The World Wheat Book*, ed. by Bonjean AP and Angus WJ. Lavoisier, Paris, pp. 445–467, 2001.

CARTES, P.; GIANFERA, L.; MORA, M. L. Uptake of selenium and its antioxidative activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. *Plant and Soil*, The Hague, v.276, n.1/2, p.359-367, 2005.

CAKMAK, I.; TORUN, A.; MILLET, E.; FELMAN, M.; FAHIMA, T.; KOROLA, A.; NEVO, E.; BRAUN, H. J.; OZKAN, H. *Triticum dicoccoides*: an important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Science and Plant Nutrition*. v. 50, p. 1047-1054, 2004.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*. v.302, n.1-2, p.1-17, 2008.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; McCLAFFERTY, B. Biofortification of durum with zinc and iron. *Cereal Chemistry*. v. 87, p. 10-20, 2010.

CHANG, P. T. et al. Nutrient solution concentrations of Na₂SeO₄ affect the accumulation of sulfate and selenate in *Brassica oleracea* L. *HortScience*, Alexandria, v.43, n.3, p.913-918, 2008.

CHEN, L.; YANG, F.; XU, J.; HU, Y.; HU, Q.; ZHANG, Y.; PAN, G. Determination of selenium concentration of rice in China and effect of fertilization of selenite and selenate on selenium content of rice, *J. Agric. Food Chem.* 50, 5128–5130, 2002.

CHILIMBA, A. D. C.; BLACK, C. R.; LAMMEL, J.; MEACHAM, M. C.; YOUNG, S. D.; BROADLEY, M. R. Agronomic biofortification of maize (*Zea mays* L.) with selenium in Malawi. In: *SELENIUM DEFICIENCY TOXICITY AND BIOFORTIFICATION FOR HUMAN HEALTH*, 2009, Suzhou, China. p.77-78. 2009.

COELHO, N. M. M.; BACCAN, N. Determinação de ultratraços de selênio em urina por geração de hidretos e espectrometria de absorção atômica em fluxo. *Eclética Química*, Marília, v.29, n.1, p.7-14, 2004.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE – CBPTT. Informações Técnicas para Trigo e Triticale Safra 2013. In: *VI Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale*. IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. 215p, 2013.

COMBS, G. F. Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition* 85, 517–547, 2001.

COPPINGER, R. J.; DIAMOND, A. M. Selenium deficiency and human disease. In: HATFIELD, D. L. Selenium: its molecular biology and role in human health. Dordrecht: Kluwer Academic, chap.18, p.219-233, 2001.

COPPINGER, R. J.; DIAMOND, A. M. Selenium deficiency and human disease. In: HATFIELD, D. L. Selenium: its molecular biology and role in human health. Dordrecht: Kluwer Academic. chap.18, p.219-233, 2001.

CLARK, L. C. et al. Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin: a randomized controlled trial. Journal of American Medical Association, Chicago, v.276, n.24, p.1957-1963, 1996.

COZZOLINO, S. M. F. A importância dos micronutrientes na saúde das populações. Brasil Alimentos, São Paulo, n.5, p.18-22, 2000.

DEBAEKE, P.; ROUET, P.; JUSTES, E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. Journal of Plant Nutrition, New York, v. 29, p. 75-92, 2006.

DISTELFELD, A.; CAKMAK, I.; PELEG, Z.; OZTURK, L.; YAZICI, A. M.; BUDAK, H.; SARANGA, Y.; FAHIMA, T. Multiple QTL-effects of wheat Gpc-B1 locus on grain protein and micronutrient concentrations. Physiologia Plantarum. v. 129, p. 635-643, 2007.

DOMINGUES, C. R. S. Variação genotípica na concentração e acúmulo natural de selênio nos grãos de trigo. In: Biofortificação agrônômica e eficiência de utilização de selênio por cultivares de trigo. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná – UFPR. P. 115, 2015.

DONG, Y. et al. Characterization of the biological activity of γ -glutamyl Semethylselenocysteine: a novel, naturally occurring anticancer agent from garlic. Cancer Research, Philadelphia, v.61, n.7, p.2923-2928, 2001.

DHILLON, K. S.; DHILLON, S. K. Distribution and management of seleniferous soils. Advances in Agronomy, New York, v.79, n.1, p.119-184, 2003.

DRAIZE, J. H.; BEATH, O. A. Observations on the pathology of “blind staggers” and “alkali disease”. American Veterinary Medical Association, Washington, v.86, n.3, p.753- 763, 1935.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema de Produção 9. Informações técnicas para trigo e triticales – Safra 2012. V Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticales. Dourados, Embrapa Oeste, p. 211, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Cultivares de Trigo – Embrapa & Iapar safra 2011. Londrina, Embrapa Soja, p. 27, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed., Rio de Janeiro, Embrapa Solos, p. 229, 2011.

ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA. Selenium. World Health Organization, Geneva, p.58, 1987.

ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Plants, selenium and human health. *Current Opinion in Plant Biology*, Oxford, v.6, n.3, p.273-279, 2003.

EUROLA, M.; EKHOLM, P.; YLINEN, M.; KOIVISTOINEN, P.; VARO, P. Effects of selenium fertilization on the selenium content of cereal grains, flour, and bread produced in Finland. *Cereal Chem.* 67(4): 334–337. 1990.

EKIZ, H.; BAGCI, S. A.; KIRAL, A. S.; EKER, S.; GULTEKIN, I.; ALKAN, A.; CAKMAK, I. Effects of zinc fertilization and irrigation on grain yield and zinc concentration of various cereals grown in zinc-deficient calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, v. 21, p. 2245-2256, 1998.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants, *Journal. Plant Nutrition*. 24 (2001) 1269–1290.

FAN, M. S.; ZHAO, F. J.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; POULTON, P. R.; DUNHAM, S. J.; MCGRATH, S. P. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 22:315-324, 2008.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED ATIONS. FAOSTAT. 2012. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>acesso em: 06 de janeiro 2015.

FARIA, L. A. Levantamento sobre selênio em solos e plantas do estado de São Paulo e sua aplicação em plantas forrageiras. p.57, 2009. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

FEIL, B. The inverse yield–protein relationship in cereals: possibilities and limitations for Genetically improving the grain protein yield. *Trends Agron*, 1:103-119, 1997.

FERNÁNDEZ-MARTINEZ, A.; CHARLET, L. Selenium environmental cycling and bioavailability: a structural chemist point of view. *Environmental Science Biotechnology*, Ashford, v.8, n.1, p.81-110, 2009.

FERREIRA, K. S.; GOMES, J. C.; BELLATO, C. R.; JORDÃO, C. P. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 11, n. 3, p. 172-177, 2002.

FINLEY, J. W. Bioavailability of selenium from foods. *Nutrition Reviews*, Malden, v.64, n.3, p.146-151, 2006.

FICHTNER, S. S. et al. Estudo da composição mineral de solos, forragens e tecido animal de bovinos do município de Rio Verde, Goiás: IV - cobre, molibdênio, selênio. Anais das Escolas de Agronomia e Veterinária, Goiânia, v.20, n.1, p.1-6, Jan.1990.

FISHBEIN, L. Metals and their compounds in the environment. Occurrence, Analysis and Biological Relevance In: E. Merian (ed.) VCH, 1991.

FORDYCE, F. M. Selenium geochemistry and health. Ambio, Stockholm, v.36, n.1, p.94-97, Feb. 2007.

GARVIN, D. F; WELCH, M. R.; FINLEY, W. J. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. Journal of the Science of Food and Agriculture. v.86, p.2213–2220, 2006.

GERLOGG, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In “Encyclopedia of Plant Physiology. New Series.” A. Lauchli and R. L. Bielecki (Eds.), Springer-Verlag, Berlin. v. 15B. p. 453– 480, 1983.

GEERING, H. R.; CARY, E. E.; JONES, L. H. P.; ALLAWAY, W. H. Solubility and redox criteria for the possible forms of selenium in soils. Soil Science Society of America Journal, v.32, p.36-40, 1968.

GIRLING, C. A. Selenium in agriculture and the environment. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.11, p.37-65, 1984.

GISSEL-NIELSEN, G.; BISBJERG, B. The uptake of applied selenium by agricultural plants. Plant Soil, v. 32, p. 382. 1970.

GISSEL-NIELSEN, G.; GUPTA, U. C.; LAMAND, M.; WESTERMARCK, T. Selenium in soils and plants and its importance in livestock and human nutrition. Advances in Agronomy, v.37, p.397-460, 1984.

GISSEL-NIELSEN, G. Selenium. In: Encyclopedia of Soil Science. Ed. LAL, R. Pp. 1476. DEKKER, M. Inc. School of Natural Resources, USA. 2002.

GOODSON, C. C; PARKER, D. R; AMRHEIN, C. & ZHANG Y. Soil selenium uptake and root system development in plant taxa differing in Se-accumulating capability. New Phytol. 159(2), 391–401, 2003.

GUNES, A.; ALPASLAN, M. INAL, A. Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown young tomato plants, Journal of Plant Nutrition 21 2035–2047, 1998.

GUR, A.; ZAMIR, D. Unused natural variation can lift yieldbarriers in plant breeding. Plos Biolody., 2:1610-1615, 2004.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M. Breeding for staple food crops with high micronutrient density. *Agricultural Strategies for Micronutrients*. Working International Food Policy Research Institute, Washington, D.C. Paper 3. pp. 1–72, 1996.

GRAHAM, R. D.; SENADHIRA, D.; BEEBE, S.; IGLESIAS, C.; MONASTERIO, I. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. *Field Crops Research* 60, 57–80, 1999.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; BOUIS, H. E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy*. v.70, p.77–142, 2001.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C.A.; BEEBE, S. E.; POTTS, M. J.; KADIAN, M.; HOBBS, P. R.; GUPTA, R. K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. *Advances in Agronomy*, v.92, p.1-74, 2007.

GRELA, E. R. Nutrient composition and content of antinutritional factors in spelt (T. Spelta L) cultivars. *Journal Science Food Agriculture*. 71, 399– 404, 1996.

HARVESTPLUS. Breeding crops for better nutrition. Washington: CGIAR, 2009. 4p. In: <http://www.harvestplus.org> (acessado em 06 de fevereiro de 2015).

HARTIKAINEN, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v. 18, p. 309-318, 2005.

HAWKESFORD, M. J.; ZHAO, F. J. Strategies for increasing the selenium content of wheat. *Journal of Cereal Sciences* 46, 282–292, 2007.

HEWITT, E. J. & SMITH, T. A. Plant mineral nutrition. Londres, The English Universities Press, P. 298, 1975.

HERREN, T.; FELLER, U. Effect of locally increased zinc contents on zinc transport from the flag leaf lamina to the maturing grains of wheat, *Journal of Plant Nutrition*. 19 379–387, 1996.

HIDIROGLOU, M. Trace element deficiencies and fertility in ruminants: a review. *Journal of Dairy Science*, London, v.62, n.8, p.1195-1206, 1979.

HOGAN, M. E.; SWIFT, I. E.; DONE, J. Urease assay and ammonia release from leaf tissues. *Phytochemistry*, 22(3): 663-667, 1983.

INOCENCIO, M. F. Frações de zinco no solo e biofortificação agrônômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo. Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. LAVRAS – MG. p.1-71, 2014.

INSTITUTE FOR REFERENCE MATERIALS AND MEASUREMENTS - IRMM. CERTIFIED REFERENCE MATERIAL BCR - 402, White Clover. European Commission – Joint Research Centre, 3p, 2007.

IWANIER, K.; ZACHARA, B. Selenium supplementation enhances the element concentration in blood and seminal fluid but does not change the spermatozoal quality characteristics in subfertile men. *Journal of Andrology*, Schaumburg, v.16, n.5, p.441-447, 1995.

JOHNSSON, L. Selenium uptake as a function of soil type, organic matter content and pH. *Plant Soil* 133:57-64, 1991.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC, p.331, 2001.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. 4. ed. New York: CRC Press, 2011.

KUBEC, R.; DRHOVA, V.; VELISEK, J. Thermal degradation of S-methylcysteine and its sulfoxide-important flavor precursors of Brassica and Allium vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v.46, n.10, p.4334-4340, 1998.

LARSEN, P. R.; BERRY, M. J. Nutritional and hormonal regulation of thyroid hormone deiodinases. *Annual Review of Nutrition*, Washington, v.15, n.3, p.323-352, 1995.

LEE, S. O. et al. Monomethylated selenium inhibits growth of LNCaP human prostate cancer xenograft accompanied by a decrease in the expression of androgen receptor and prostate-specific antigen (PSA). *Prostate*, Malden, v.66, n.10, p.1070-1075, 2006.

LENZ, M.; LENS, P. N. L. The essential toxin: the changing perception of selenium in environmental sciences. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.12, n.12, p.3620-3633, 2009.

LEWIS, B. G.; JOHNSON, C. M.; DELWICHE, C. C. Release of volatile selenium compounds by plants: collection procedures and preliminary observations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v.14, n.6, p.638-640, 1966.

LI, H. F.; MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. *New Phytologist*, Malden, v.178, n.1, p.92-102, 2008.

LISK, D. J. Trace metals in soils, plants, and animals. *Advances in Agronomy*, v. 24, p.267-311, 1972.

LOMBI, E.; SCHECKEL, K. G.; PALLON, J.; CAREY, A. M.; ZHU, Y. G. Speciation and distribution of arsenic and localization of nutrients in rice grains. *The New phytologist* 184: p.193–201, 2009.

LYI, S. M. et al. Molecular and biochemical characterization of the selenocysteine Se-methyltransferase gene and Se-methylselenocysteine synthesis in broccoli. *Plant Physiology*, Rockville, v.138, n.1, p.409-420, 2005.

LYONS, G. H.; STANGOULIS, J. C. R.; GRAHAM, R. D. High-selenium wheat: biofortification for better health. *Nutrition Research. Reviews.* v.16, p.45– 60, 2003.

LYONS, G.H.; JUDSON, G.J.; STANGOULIS, J. C. R. Palmer LT, Jones JA, Graham RD. Trends in selenium status of South Australians. *Medical Journal of Australia.* 180(8):383–6, 2004.

LYONS, G. H.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; STANGOULIS, J.; GRAHAM, R. Selenium concentration in wheat grain: Is there sufficient genotypic variation to use in breeding? *Plant and Soil*, v.269, n.1-2, p.369-380, 2005.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, p.251, 1980.

MARTINEZ, R. A. S.; REZENDE, A. A. A.; ANDRADE, M. J. B.; PASSOS, A. M. A. Doses e formas de aplicação de selênio na cultura da soja. *Ciência e. Agrotecnologia*, Lavras, v.33, n.3. 2009.

MAZIYA-DIXON, B.; KLING, J. G.; MENKIR, A.; DIXON, A. Genetic variation in total carotene, iron, and zinc contents of maize and cassava genotypes, *Food Nutrition. Bull.* 21 419–422, 2000.

McCULLOUGH, H. Determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta*, 17(2): p. 297-304, 1967.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A - Mineropar. Atlas Geológico do Estado do Paraná. Curitiba, Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e Turismo, CD-ROM, 125p, 2001.

MINOLTA CAMERA. Manual for chlorophyll meter SPAD – 502. Osak. 22p. 1989.

MORA, M. L.; PINILLA, L.; ROSAS, A.; CARTES, P. Selenium uptake and its influence on the antioxidative system of White clover as affected by lime and phosphorus fertilization. *Plant and Soil*, v. 303, p. 139-149. 2008.

MORGOUNOV, A.; GOMEZ-BECERRA, H. F.; ABUGALIEVA, A.; DZHUNUSOVA, M.; YESSIMBEKOVA, M.; MUMINJANOV, H.; ZELENSKIY, Y.; OZTURK, L.; CAKMAK, I. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. *Euphytica.* 155, 193–203. 2007.

MORAES, M. F. Selênio em solos, planta e fertilizantes. In: II ENCONTRO SOBRE SELÊNIO E TELÚRIO – BRASIL, Campos do Jordão – SP. Livro de resumos do II Encontro sobre Selênio e Telúrio. Brasil. 118 p. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 19, 2008.

MORAES, M. F.; WELCH, R. M.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. Evidences of selenium deficiency in Brazil: from soil to human nutrition. In: BANUELOS, G. R.; LIN, Z. G.; YIN, X. B. (Eds). First International Conference on Selenium in the Environment and Human Health, 2009, Suzhou. Selenium: deficiency, toxicity and biofortification for human health. 116p. Hefei: University of Science and Technology of China Press, p.73-74, 2009.

MORAES, M. F.; ABREU JUNIOR, C. H.; HART, J. J.; WELCH, R. M.; KOCHIAN, L. V. Genotypic variation in micronutrient and cadmium concentrations in grains of 35 upland rice cultivars. In: World Congress of Soil Science, 19, 2010, Brisbane, Australia. Proceedings... Brisbane: Queensland Government, 3p. (CD-ROM) 2010.

MORAES, M.F.; RAMOS, S.J.; GUILHERME, L.R.G. Beneficial roles of selenium in plants. In: In: BANUELOS, G.R., LIN, Z.Q., YIN, X.B. (Eds). Second International Conference on Selenium in the Environment and Human Health, 2011. Suzhou. Selenium: Global perspectives of impacts on humans, animals and the environment. Hefei: University of Science and Technology of China Press, p. 111-112, 2011.

MORRIS, J. S.; CRANE, S. B. Selenium toxicity from a misformulated dietary supplement, adverse health effects, and the temporal response in the nail biologic monitor. *Nutrients*, Basel, v.5, n.4, p.1024-1057, 2013.

MORGONUOV, A.; GÓMEZ-BECERRA, H.F.; ABUGALIEVA, A.; DZHUNUSOVA, M.; YESSIMBEKOVA, M.; MUMINJANOV, H.; ZELENSKIY, Y.; OZTURK, L.; CAKMAK, I. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. *Euphytica* 155:193- 203. 2007.

MULDER, E. G.; BOXMA, R.; VEEN, W. L. V. The effect of molybdenum and nitrogen deficiencies on nitrate reduction in plant tissues. *Plant and Soil*, v. 10, p. 335-355, 1959.

MURCHIE, E. H.; YANG, J.; HUBBART, S.; HORTON, P.; PENG, S. Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? *J. Exp. Bot.* 53, 2217–2224, 2002.

NAKAMARU, Y.; TAGAMI, K.; UCHIDA, S. Distribution coefficient of selenium in Japanese agricultural soils. *Chemosphere*, v.58, p.1347-1354, 2005.

NEAL, R. H.; SPOSITO, G.; HOLTZCLAW, K. M.; TRAINA, S. J. Selenite adsorption on alluvial soils. I. Soil composition and pH effects. *Soil Science Society American Journal*. v.51, p.1161-1165, 1987.

NEAL, R. H. Selenium. In: ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soils. 2. ed. New York: Wiley, p.260-283, 1995.

NEAL, R. H. Selenium. Em: Heavy Metals in Soil. p. 237-260. B. J. Alloway, ed. Blackie & John Wiley & Sons, Inc., Glasgow. 238 p. 1993.

NIE, G. D. L.; HENDRIX, A. N.; WEBBER, B. A.; KIMBALLI, S. P. Long, Increased accumulation of carbohydrates and decreased photosynthetic gene transcript levels in wheat grown at an elevated CO₂ concentration in the field, *Plant Physiology*. 108 975–983, 1995.

NOBLE, R. M.; BARRY, G. A. Survey of selenium concentrations in wheat, sorghum and soybean grains, prepared poultry feeds and feed ingredients from Queensland *Journal of Agricultural & Animal Science*. v.39, p.1–8, 1982.

NOWAK, J; KAKLEWSKI, K.; KTO'DKA, D. Influence of various concentrations of selenic acid (IV) on the activity of soil enzymes. *The Science of the Total Environment* 291, 105–110. 2002

NOWAK, L.; KAKLEWSKI, K.; LIGOCKI, M. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. *Soil Biology & Biochemistry*, v.36, p.1553-1558, 2004.

NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V.; FUKUDA, W. M. G.; SILVA, J. B. C.; PELOSO, M. J.; NEVES, P. C. F.; ROCHA, M. M.; SCHAFFERT, R. E.; SHEEREN, P. L.; RAMOS, S. R. R.; CARVALHO, H. W. L.; CURADO, F. F.; FIGUEIREDO, R.; SALVADOR, L.; SILVA, E. M. M.; RANGEL, C. N.; BOUIS, H. Strategies for Biofortification in Brazil. In: Ismail Serageldin; Ehsan Massod; Mohamed El-Faham; Marwa El-Wakil. Org. From Promises to Practice. Applications of Science and Technology in Food, Healthcare, Energy and Environment. BioVision Alexandria 2008. 1ed.Alexandria: Bibliotheca Alexandrina, p. 177-193, 2010.

OLIVEIRA, C. G. R. Desenvolvimento de bioprocesso para a produção de biomassa de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) rica em organoselênio. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p.77, 2006.

OZTURK, L.; YAZICI, M. A.; YUCEL, C.; TORUN, A.; CEKIC, C.; BAGCI, A.; OZKAN, H.; BRAUN, H. J.; SAYERS, Z.; CAKMAK, I. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiology Plant*, v. 128, p. 144-152, 2006.

PAIVA NETO, J. E.; GARGANTINI, H. Dosagem de selênio no solo. *Bragantia*, v.15, n.1, p.13-16, 1956.

PAIVOKA, A. E. A. Mineral elements and phytase activity in *Pisum sativum* grown at different Zn supply levels in the greenhouse, *Environment Experimental Botany* 49, 285–294, 2003.

PAPPAS, A. C. et al. Selenoproteins and maternal nutrition. *Comparative Biochemistry and Physiology*, Oxford, v.151, n.1, p.361-372, 2008.

PELEG, Z.; SARANGA, Y.; YAZICI, A.; FAHINA, T.; OZTURK, L.; CAKMAK, I. Grain zinc, iron and protein concentrations and zinc-efficiency in wild emmer wheat under contrasting irrigation regimes. *Plant Soil* 306, 57–67, 2008.

PETERSON, C. J.; JOHNSON, V. A.; MATTERN, P. J. Influence of cultivar and environment on mineral and protein concentrations of wheat flour, bran, and grain. *Cereal Chemistry* 63, 183–186, 1986.

PEZZAROSSA, B.; PICCOTINO, D.; SHENNAN, C.; MALORGIO, F. Uptake and distribution of selenium in tomato plants as affected by genotype and sulphate supply. *Journal Plant Nutrition* 22, 1613–1635, 1999.

PHATTARAKUI, N.; RERKASEM, B.; LI, L. J.; WU, L. H.; ZOU, C. Q.; RAM, H.; SOHU, V. S.; KANG, B. S.; SUREK, H.; KALAYCI, YAZICI, M. A.; ZHANG, F. S.; CAKMAK, I. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. *Plant and Soil*, v. 361, p. 131-141, 2012.

PIERGIOVANNI, A. R.; RIZZI, R.; PANNACCIULLI, E.; DELLA GATTA, C. Mineral composition in hulled wheat grains: a comparison between emmer (*Triticum dicoccon* Schrank) and spelt (*T. Spelta* L) accessions. *Int. Juornal Food Science Nutrition*. v.48, 381–386. 1997

PILON-SMITS, E. et al. Overexpression of ATP sulfurylase in Indian mustard leads to increased selenate uptake, reduction, and tolerance. *Plant Physiology*, Rockville, v.119, n.2, p. 123-132, 1999.

PILON-SMITS, E.; QUINN, C. Selenium metabolism in plants. In: HELL, R.; MENDEL, R. R. (Ed.). *Cell biology of metals and nutrients*. Berlin: Plant Cell Monographs. chap.10, p.225-241, 2010.

POBLACIONES, M. J.; RODRIGO, S.; SANTAMARÍO, O.; CHEN, Y.; McGRATH, S. P. Agronomic selenium biofortification in *Triticum durum* under Mediterranean conditions: from grain to cooked pasta, *Food Chemistry*. 146, 378–384, 2014.

PONGRAC, P.; VOGEL-MIKUS, K.; REGVAR, M.; VAVPETIC, P.; PELICON, P. Improved lateral discrimination in screening the elemental composition of buckwheat grain by micro-PIXE. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 1275–1280, 2011.

RAMOS, S.J.; RUTZKE, M.R.; HAYES, J.; FAQUIM, V.; GUILHERME, L.R.G.; LI, L. Selenium accumulation in lettuce germplasm. *Planta*: 233, p.649–660, 2010.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; GUILHERME, L. R. G.; [MORAES, M. F.](#); CASTRO, E. M.; ÁVILA, F. W.; BOLDRIN, P. F. Agronomic biofortification with selenium: effects on accumulation of selenium and common bean yield grown in tropical soil. In: 2nd International Conference on Selenium in the Environment and Human Health, 2011, Suzhou. *Selenium: global perspectives of impacts on humans, animals and the environment*. Hefei: University of Science and Technology of China Press, p. 97-98, 2011.

RAYMAN, M. P. The argument for increasing selenium intake. *Proceedings of the Nutrition Society*, London, v.61, n.2 p.203-215, 2002.

RAYMAN, M. P. Selenium and human health. *Lancet*, New York, v.379, n.9822, p.1256-1268, 2012.

RENGEL, Z.; BATTEN, G.D.; CROWLEY, D.E. Agronomic approaches for improving the micronutrient density of edible portions of field crops. *Field Crops Research*, v.60, p.27-40, 1999.

RIAZ, M.; MEHMOOD, K. T. Selenium in human health and disease: a review. *Journal of Postgraduate Medical Institute, Peshawar*, v. 26, p.120-133, 2012.

RIZZO, A. C. L.; MILLIOLI, V.; LEMOS, J. L. S.; VALDMAN, E.; SANTOS, R. L. C. Série tecnologia ambiental: Processos biológicos de remoção de selênio de efluentes. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro. p.46, 2007.

ROSSI, R. M. & NEVES, M. F. Estratégias para o trigo no Brasil. Ed. Atlas S/A, 2004.

ROTRUCK, J. T. et al. Selenium biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science*, Washington, v.179, n.4073, p.588-590, 1973.

ROZENBERG, I. M. Química Geral, Edgard Blücher Ltda. 1º ed. São Paulo, 2002.

SANDERS, D. E. Use of selenium in problem cattle herds. *Modern Veterinary Practice*, Santa Barbara, v.65, n.2, p.136-138, 1984.

SANDS, D. C.; MORRIS, C. E.; DRATZ, E. A.; PILGERAM, A. L. Elevating optimal human nutrition to a central goal of plant breeding and production of plant-based foods. *Plant Science*. v.177, p.377–389, 2009.

SAPPEY, C. et al. Stimulation of glutathione peroxidase activity decreases HIV Type 1 activation after oxidative stress. *Journal of AIDS Research and Human Retrovirology*, New Rochelle, v.10, n.11, p.1451-1461, 1994.

SATHE, S. K.; MASON, A. C.; RODIBAUGH, R.; WEAVER, C. M. Chemical form of selenium in soybean (*Glycine max* L.) lectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v.40, n.11, p.2084-2091, 1992.

SEREGINA, I. I.; NILOVSKAYA, N. T.; OSTAPENKO, N. O. The role of selenium in the formation of the grain yield in spring wheat. *Agrokimiya*. 1, 44–50, 2001.

SHADCHINA, T. M.; DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 18, p. 1427-1437, 1995.

SCHEEREN, P.L.; CARVALHO, J.L.V.; CAIERÃO, E.; BASSOI, M.C.; FRONZA, V.; ALBRECHT, J.C.; JÚNIOR, W.Q.R.; MIRANDA, M.Z.; TORRES, G.A.M.; TIBOLA, C.S.; BONOW, S. Biofortificação de trigo no Brasil. In: III Reunião Anual de Biofortificação no Brasil, 3, Aracaju. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009 (CD-ROM) 2009.

SCHEEREN, P. L.; CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R.; CAIERÃO, E.; BASSOI, M. C.; ALBRECHT, J. C.; CASTRO, R. L.; MIRANDA, M. Z.; TORRES, G. A. M.; SALETE, C. BIOFORTIFICAÇÃO EM TRIGO NO BRASIL. IV Reunião de Biofortificação. 2011.

SCHWARZ, K.; FOLTZ, C. M. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of American Chemical Society*, Washington, v.79, n.12, p.3292-3293, 1957.

SMITH, G. S.; WATKINSON, J. H. Selenium toxicity in perennial ryegrass and white clover. *New Phytol*, v. 97, p. 557-564. 1984.

SHI, R.; ZHANG, Y.; CHEN, X.; SUN, Q.; ZHANG, F.; ROMHELD, V.; ZOU, C. Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Cereal Science*, v. 51, p. 165-170, 2010.

SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. *Photosynthesis Research*, Dordrecht, v.86, n.3, p.373-389, 2005.

SOUZA, M. P. et al. Rate-limiting steps in selenium assimilation and volatilization by Indian mustard. *Plant Physiology*, Rockville, v.117, n.4, p.1487-1494, 1998.

SOUZA, A. G.; CARVALHO, J.; RUTZKE, M. A.; ALBRECHT, J. C.; GUILHERME, L. R. G. Evaluation of germplasm effect on Fe, Zn and Se content in wheat seedlings. *Plant Science*, v. 2010, p. 206-213, 2013.

SOUZA, A. G.; JONATHAN, HART, J.; CARVALHO, J. G.; RUTZKE, M. A.; ALBRECHT, J. C.; GUILHERME, L. R. G.; KOCHIAN, L. V.; Li, L. Genotypic variation of zinc and selenium concentration in grains of Brazilian wheat lines. *Plant Science* 224, 27-35, 2014.

TAMURA, T.; STADTMAN, T. C. A new selenoprotein from human lung adenocarcinoma cells: purification, properties, and thioredoxin reductase activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Melville, v.93, n.3, p.1006-1011, 1996.

TAN, J. A. et al. Selenium in soil and endemic diseases in China. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.284, n.1/3, p.227-235, 2002.

TANKSLEY, S.D.; MCCOUCH, S.R. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science* 277:1063-1066, 1997.

THAVARAJAH, D.; VANDENBERG, A.; GEORGE, G. N.; PICKERING, I. J. Chemical form of selenium in naturally selenium-rich lentils (*Lens culinaris* L.). From saskatchewan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 55, p. 7337-7341, 2007.

THOMSON, C. D. Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review. *European Journal of Clinical Nutrition*, London, v.58, n.3, p.391-402, 2004.

TERRY, N.; ZAYED, A. M.; SOUZA, M. P.; TARUN, A. S. Selenium in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Berkley, v.51, n.1, p.401-432, 2000.

TVEITNES, S.; SINGH, B. R.; RUUD, L. Selenium concentration in spring wheat as influenced by basal application and top dressing of selenium-enriched fertilizers. *Fert. Res.* 45, 163–167, 1996.

UAUY, C.; DISTELFELD, A.; FAHIMA, T.; BLECHL, A.; DUBCOVSKY, J. A NAC gene regulating senescence improves grain protein, zinc, and iron content in wheat. *Science* 314:1298-1301, 2006.

ULRICH, J. M.; SHRIFT, A. Selenium absorption by excised *Astragalus* roots. *Plant Physiology*, Rockville, v.43, n.1, p.14-20, 1968.

USEPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Method 3051A – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Washington, DC, Revision 1, February 2007. 30p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Revision 1 Feb 2007. 30p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em 27 janeiro 2015.

VEATCH, A. E. et al. Selenium and nutrition: the accuracy and variability of the selenium content in commercial supplements. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Dordrecht, v.264, n.1, p.33-38, 2005.

VELU G.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; SINGH, R. P.; PAYNE, T. Variation for grain micronutrient concentration in wheat core-collection accessions of diverse origin, *Asian Journal Crop Science*. 3, 43–48, 2011.

WATERS, B.M.; UAUY, C.; DUBCOVSKY, J.; GRUSAK, M.A. Wheat (*Triticum aestivum*) proteins regulate the translocation of iron, zinc, and nitrogen compounds from vegetative tissues to grain. *J Exp Bot* 60:4263-4274, 2009.

WANG, L. et al. Methyl-selenium compounds inhibit prostate carcinogenesis in the transgenic adenocarcinoma of mouse prostate model with survival benefit. *Cancer Prevention Research*, Philadelphia, v.2, n.5, p.484-495, 2009.

WASHINGTON, D. C. US./NRC. Selenium. National Academy of Science, National Research Council, Assembly of Life Science, Medical and Biological Effect of Environmental Pollutants, p.203, 1976.

WELCH, R.M. Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 14:49–82, 1995.

WELCH, R. M.; COMBS, G. F.; DUXBURY, J. M. Toward a "greener" revolution. *Issues in Science and Technology*, v.14, n.1, p.50-58, 1997.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding crops for enhanced micronutrient content, *Plant and Soil*. 245 205–214, 2002.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective, *Journal Experimental Botany*. 55, 353–364, 2004.

WELCH, R. M. Linkages between trace elements in food crops and human health. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). *Micronutrient deficiencies in global crop production*. New York: Springer, p.287-309, 2008.

WEI, Y.; SHOHAG, M. J. I.; YANG, X.; YIBIN, Z. Effects of foliar iron application on iron concentration in polished rice grain and its bioavailability, *Journal Agricultural Food Chemistry*. 60, 11433–11439, 2012.

WHANGER, P. D. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *Journal of the American College of Nutrition*, Clearwater, v.21, n.3, p.223-232, 2002.

WHITE, P. J. et al. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.55, n.404, p.1927-1937, 2004.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science*, v. 10, p. 586-593, 2005.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, v.182, p.49-84, 2009.

WHITE, P. J.; BRADSHAW, J. E.; DALE, M. F. B.; RAMSAY, G.; HAMMOND, J. P.; BROADLEY, M. R. Relationships between yield and mineral concentrations in potato tubers. *HortScience*, v.44, n.1, p.6-11, 2009.

WHITAKER, J. R. Development of flavor, odor and pungency in onion and garlic. *Advances in Food Research*, Maryland, v.22, n.1, p.73-133, 1976.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Trace Elements in Human Nutrition and Health*. Geneva: World Health Organisation, 1996.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Environmental Health Criteria for Selenium*. Geneva: WHO, 1987. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc58.htm>>. Acesso em: 05/02/2015.

WU, S. H. et al. Effect of selenium, vitamin E and antioxidants on testicular function in rats. *Biology of Reproduction*, Madison, v.8, n.5, p.625-629, 1973.

YAN, J.; WANG, F.; QIN, H.; CHEN, G.; EVIATAR, N.; FAHIMA, T.; CHENG, J. Natural variation in grain selenium concentration of wild barley, *Hordeum spontaneum*, populations from Israel, *Biological Trace Element Research*. 142, 773–786, 2011.

YANG, F.; CHEN, L.; HU; PAN, G. Effect of the application of selenium on selenium content of soybean and its products. *Biological Trace Element Research*. v.93, 249–256, 2003.

YANG, G. Q.; ZHOU, R. Further observations on the human maximum safe dietary selenium intake in a seleniferous area of China. *Journal of Trace Elements and Electrolytes in Health and Disease*, v.8/3-4, p.159-165, 1994.

YANG, G. Q.; XIA, Y. M. Studies on human dietary requirements and safe range of dietary intakes of selenium in China and their application in the prevention of related endemic diseases. *Biomedical and Environmental Sciences: BES* v.8/3, p.187-201, 1995.

YLARANTA, T. Effect of selenite and selenate fertilization and foliar spraying on selenium content of timothy grass. *Ann. Agric. Fenniae* 23:96-108, 1984.

YILMAZ, A.; EKIZ, H.; TORUN, B.; GULTEKIN, I.; KARANLIK, S.; BAGCI, S. A.; KAKMAK, I. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *Journal of Plant Nutrition*, v.20, p.461-471, 1997.

ZHAO, F. J.; SU, Y. H.; DUNHAM, S. J.; RAKSZEGI, M.; BEDO, Z.; McGRATH, S. P.; SHEWRY, P. R. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin, *Journal Cereal Science*. 49, 290–295, 2009.

ZHÃO, F. & SHEWRY, R. P. Recent developments in modifying crops and agronomic practice to improve human health. *Food Policy*. v.36, p.94-101, 2011.

ZHANG, Y.; PAN, G.; CHEN, J.; HU, Q. Uptake and transport of selenite and selenate by soybean seedlings of two genotypes. *Plant Soil* 253: 437–443, 2003.

ZHANG, H. H. et al. Spatial distributions and potential risk analysis of total soil selenium in Guangdong Province, China. *Journal of Environmental Quality, Madison*, v.37, n.3, p.780-787, 2008.

ZHANG, W. A forecast analysis on world population and urbanization process. *Environment, Development and Sustainability*. v.10, n.6, p.717–730, 2008.

ZHANG, Y.; SHI, R.; REZAUL, K.; ZHANG, F.; ZOU, C. Iron and zinc concentrations in grain and flour of winter wheat as affected by foliar application, *Journal Agricultural Food Chemistry* 58, 12268–12274, 2010.

ZAYED, A. M.; LYTLE, C. M.; TERRY, N. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. *Planta, Berlin*, v.206, n.2, p.284-292, 1998.

ZENG, H. Selenium as an essential micronutrient: roles in cell cycle and apoptosis. *Molecules, Basel*, v.14, n.3, p.1263-1278, 2009.

